



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

NÁVRH VÝMĚNÍKŮ TEPLA PRO VYSOKOTEPLOTNÍ APLIKACE

DESIGN OF HEAT EXCHANGERS FOR HIGH TEMPERATURE APPLICATIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN JONÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VÍT KERMES, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Jonák

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh výměníků tepla pro vysokoteplotní aplikace

v anglickém jazyce:

Design of heat exchangers for high temperature applications

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Prostudovat základní dostupnou literaturu o výpočtových postupech pro trubkové a deskové výměníky tepla.
2. Seznámit se s dostupnými výpočtovými postupy a softwary pro výpočet zařízení na výměnu tepla u nichž je významná radiační složka sdílení tepla.
3. Pro konkrétní zadaný průmyslový případ analyzovat dostupné typy výměníků tepla a vybrat vhodný typ.
4. Provést stručný rozbor vybraných výpočtových vztahů a postupů a s pomocí dostupných softwarů formulovat matematický model pro tepelně-hydraulický výpočet výměníku tepla vybraného typu.
6. Aplikovat formulovaný matematický model na konkrétní praktické zadání.
7. Proved'te analýzu dosažených výsledků.

Cíle diplomové práce:

1. Výběr vhodného typu výměníku pro zadanou aplikaci a zdůvodnění výběru
2. Stručný rozbor vybraných výpočtových vztahů a jejich zápis formou výpočtového manuálu
3. Tepelně-hydraulické výpočty řešeného případu výměníku pomocí dostupného softwaru
4. Stručný uživatelský manuál použitého softwaru

Seznam odborné literatury:

- [1] Hewitt, G., F., (Executive Editor): Heat Exchanger Design Handbook, Begell House, Inc., New York (1998).
- [2] Hewitt, G., F., Shires, G.,L. and Bott, T., R.: Process Heat Transfer, CRC Press, Inc., New York (1994).
- [3] Smith E. M.: Thermal Design of Heat Exchangers: a numerical approach – direct sizing and stepwise rating, John Wiley & Sons, Chichester, England (1997).

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vít Kermes, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 1.10.2009

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá tepelně-hydraulickým návrhem a kontrolou výměníků tepla pomocí specializovaného komerčního softwaru HTRI. Řešené výměníky tepla jsou určeny pro konkrétní vysokoteplotní aplikace, kde horkou pracovní látkou jsou spaliny o vysoké teplotě (nad 500 °C). V práci je proveden stručný rozbor konvenčních konstrukcí výměníků tepla používaných pro vysokoteplotní aplikace, popis základních výpočtových vztahů a charakteristika softwaru HTRI, ke kterému je sepsán stručný uživatelský manuál. Součástí práce je rozbor dostupných metod pro stanovení tlakových ztrát na 180° kolenech vynucený požadavky na nízké tlakové ztráty u řešených aplikací.

ABSTRACT

This thesis is devoted to thermal-hydraulic design and rating of heat exchangers with the specialized commercial software HTRI. These heat exchangers are solved for real high-temperature applications, where the hot fluid is a flue gas with high temperature (above 500 °C). In the thesis is made a brief analysis of the conventional design of heat exchangers usable for high-temperature applications, description of the basic relations, description and brief user manual of software HTRI. Further, work includes a comparative study of methods for calculation of pressure drop of the fluid at 180° elbows, as support analysis for solution of required applications characterized by low pressure drop of process fluids.

KLÍČOVÁ SLOVA

Výměník tepla, příčně obtékaný svazek trubek, svazek trubek v plášti, vysokoteplotní aplikace, základní výpočtové vztahy, software HTRI, tlakové ztráty, 180° ohyby.

KEYWORDS

Heat exchanger, cross-flow tube bundle, shell and tube heat exchanger, high temperature applications, basic relations, software HTRI, pressure drops, 180° elbow.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP DLE ČSN ISO 690

JONÁK, M. *Návrh výměníků tepla pro vysokoteplotní aplikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 128 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vít Kermes, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně dle pokynů vedoucího diplomové práce s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Brně dne 28. května 2010

.....
Bc. Martin Jonák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Vítu Kermesovi, Ph.D. za vytvoření podmínek pro vypracování diplomové práce a také děkuji doc. Ing. Zdeňku Jeglovi, Ph.D. a Ing. Bohuslavu Kilkovskému, Ph.D. za odbornou pomoc během vypracovávání této práce.

V Brně dne 28. května 2010

.....
Bc. Martin Jonák

OBSAH

SEZNAM SYMBOLŮ.....	8
1. ÚVOD.....	9
1.1. ZADÁNÍ VYSOKOTEPLOTNÍ APLIKACE 1	9
1.2. ZADÁNÍ VYSOKOTEPLOTNÍ APLIKACE 2	14
2. PŘEHLED A CHARAKTERISTIKA KONVENČNÍCH KONSTRUKCÍ VÝMĚNÍKŮ TEPLA POUŽÍVANÝCH PRO VYSOKOTEPLOTNÍ APLIKACE	16
2.1. ZÁKLADNÍ DĚLENÍ VÝMĚNÍKŮ TEPLA	16
2.2. BLIŽŠÍ CHARAKTERISTIKA KONVENČNÍCH KONSTRUKCÍ VÝMĚNÍKŮ TEPLA POUŽÍVANÝCH PRO VYSOKOTEPLOTNÍ APLIKACE	18
2.2.1. <i>Výměník tepla typu trubka v trubce</i>	18
2.2.2. <i>Trubkový výměník tepla se svazkem trubek v plášti</i>	19
2.2.3. <i>Deskové výměníky tepla</i>	21
2.2.4. <i>Příčně obtékaný svazek trubek</i>	22
3. ZÁKLADNÍ VÝPOČTOVÉ VZTAHY PRO VÝPOČET VÝMĚNÍKU TEPLA....	24
3.1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ANALYTICKÉHO ŘEŠENÍ VÝMĚNÍKŮ TEPLA	24
4. SOFTWARE HTRI.....	27
4.1. CHARAKTERISTIKA SOFTWARE	27
4.2. PRINCIPY A PRVKY OVLÁDÁNÍ SOFTWARE.....	27
4.3. TYPY VÝSTUPNÍCH PROTOKOLŮ	28
5. SROVNÁVACÍ VÝPOČET TLAKOVÝCH ZTRÁT PAROVZDUŠNÉ SMĚSI VE 180° KOLENECH S POUŽITÍM PĚTI VYBRANÝCH VÝPOČTOVÝCH METOD... 29	29
5.1. PŘEHLED A ROZBOR METOD PRO VÝPOČET TLAKOVÉ ZTRÁTY VE 180° KOLENECH... 29	29
5.1.1. <i>Popis výpočtových metod</i>	29
<i>Metoda ekvivalentní délky</i>	30
<i>Metoda používající součinitel místního odporu</i>	31
<i>Hooperova 2-K metoda</i>	31
<i>Darbyho 3-K metoda</i>	32
<i>Blevinsova metoda</i>	33
5.1.2. <i>Porovnání výpočtových metod</i>	33
5.1.3. <i>Výběr vhodné metody výpočtu tlakové ztráty ve 180° kolenech</i>	35
6. ŘEŠENÍ VYSOKOTEPLOTNÍ APLIKACE 1 SOFTWAREM HTRI	36
6.1. VSTUPNÍ DATA A POSTUP ŘEŠENÍ.....	36
6.2. HLAVNÍ VÝSLEDKY ALTERNATIVY 1	38
6.3. HLAVNÍ VÝSLEDKY ALTERNATIVY 2	39
6.4. HLAVNÍ VÝSLEDKY ALTERNATIVY 3	40
6.5. SHRUTÍ VÝSLEDKŮ VYSOKOTEPLOTNÍ APLIKACE 1	40
7. ŘEŠENÍ VYSOKOTEPLOTNÍ APLIKACE 2 SOFTWAREM HTRI	41
7.1. VSTUPNÍ DATA A POSTUP ŘEŠENÍ.....	41
7.2. HLAVNÍ VÝSLEDKY VARIANTY 1	42
7.3. HLAVNÍ VÝSLEDKY VARIANTY 2	43
7.4. SHRUTÍ VÝSLEDKŮ VYSOKOTEPLOTNÍ APLIKACE 2	44

8. ZÁVĚR.....	45
9. CITOVANÁ LITERATURA	46
10. SEZNAM PŘÍLOH:.....	48
PŘÍLOHY	49

Seznam symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
Δp_{PVS}	dovolená tlaková ztráta na straně PVS	kPa
Δp_{sp}	dovolená tlaková ztráta na straně spalin	kPa
m_{PVS}	hmotnostní průtok PVS	kg.s ⁻¹
m_{sp}	hmotnostní průtok spalin	kg.s ⁻¹
P_{CS-AMH}	bilanční výkon CS-AMH	kW
P_{OPVS}	bilanční výkon OPVS	kW
p_{PVSin}	tlak PVS na vstupu do výměníku	kPa
T_{PVSin}	teplota PVS na vstupu do výměníku	°C
T_{PVSout}	teplota PVS na výstupu z výměníku	°C
T_{spin}	teplota spalin na vstupu do výměníku	°C
T_{spout}	teplota spalin na výstupu z výměníku	°C
w_{PVS}	hmotnostní podíl páry v PVS	% _{hm}

Poznámka:

V seznamu symbolů jsou uvedeny pouze symboly, které nejsou v textu blíže specifikovány.

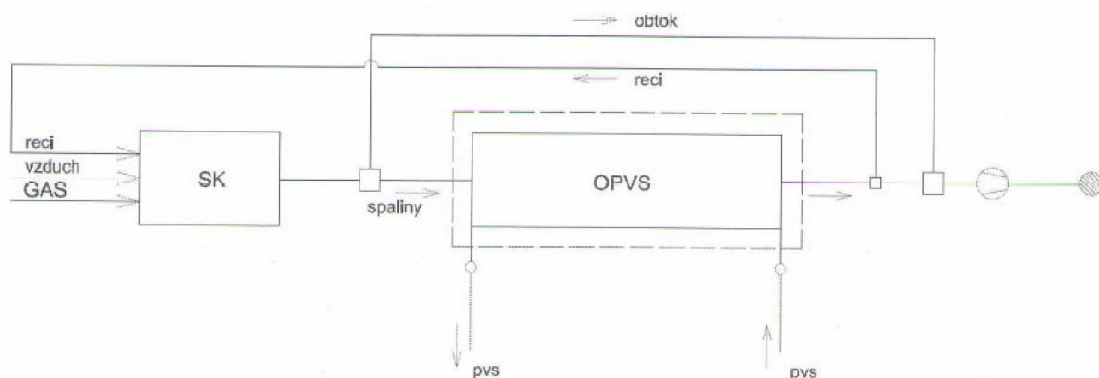
1. Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou tepelně-hydraulického návrhu a kontroly výměníků tepla určených pro vysokoteplotní aplikace v energetických systémech, kde horkou pracovní látkou jsou spaliny o vysoké teplotě (nad 500 °C).

Konkrétně jsou v diplomové práci z tepelně-hydraulického pohledu řešeny dva případy výměníků tepla pro níže detailně specifikované vysokoteplotní energetické aplikace. Současně je v práci proveden popis a rozbor dostupných výpočtových vztahů a analýza schopností a možností dostupného komerčního softwaru HTRI použitého pro řešení zadaných případů.

1.1. Zadání vysokoteplotní aplikace 1

Předmětem vysokoteplotní aplikace 1 je řešení ohříváku parovzduchové směsi (dále jen OPVS), který bude součástí vyvíjeného flexibilního energetického systému transformujícího primární energii biomasy i alternativních paliv při jejich spalování (popřípadě odpadní teplo z různých tepelných agregátů) na elektrickou energii s možností kogenerace s vyšší účinností. Principiální schéma zapojení ohříváku je znázorněno na obr. 1.1 [1].



Obr. 1.1 Schéma uspořádání výměníku OPVS a jeho nejbližšího okolí ve vyvíjeném energetickém systému [1].

V samotném OPVS bude probíhat tepelná výměna mezi spaliny a parovzduchovou směsí (dále jen PVS). OPVS má být navržen na jmenovité parametry, které jsou uvedeny v tab. 1.1.

Médium - umístění	Veličina	Hodnota	Jednotka
PVS - v trubkách	p_{PVSin}	6,109	bar(abs.)
	T_{PVSin}	220,3	°C
	T_{PVSout}	835,0	°C
	w_{PVS}	25,36	% hm.
	m_{PVS}	3,175	kg·s ⁻¹
	Δp_{PVS}	10,0	kPa
Spaliny - v plášti	T_{spin}	1200,0	°C
	T_{spout}	345,3	°C
	m_{sp}	2,517	kg·s ⁻¹
	Δp_{sp}	1,5	kPa
Bilanční výkon OPVS	P_{OPVS}	2663	kW

Tab. 1.1 Zadávací parametry nominálního provozního režimu OPVS [1].

Zadavatel požaduje provést kontrolu výchozích tří alternativ návrhu OPVS tvořeného svazky trubek umístěnými do spalínového kanálu. Tyto alternativy se liší použitými rozměry trubek a uspořádáním trubkových svazků. Jejich základní specifikace je uvedena níže spolu s náčrtý jednotlivých alternativ, které jsou na obr. 1.2 až 1.4.

Dle druhu materiálu, ze kterého budou vyrobeny svazky trubek a který je volen v závislosti na maximální teplotě jejich vnější stěny, je OPVS členěna do několika sekcí. V tab. 1.2 jsou jednotlivé sekce označeny příslušným číslem (1 až 5) a ke každé sekci je přiřazen určitý materiál, ze kterého bude daná sekce vyrobena. K jednotlivým materiálům jsou rovněž uvedeny i jejich maximální přípustné teploty na vnějším povrchu trubky.

Sekce	Materiál	Teplota stěny	Jednotka
5	třídy 12	500 (490)*	°C
4	třídy 15	650	°C
3	třídy 17	750	°C
1 a 2	Niklové slitiny	950 (až 980)	°C

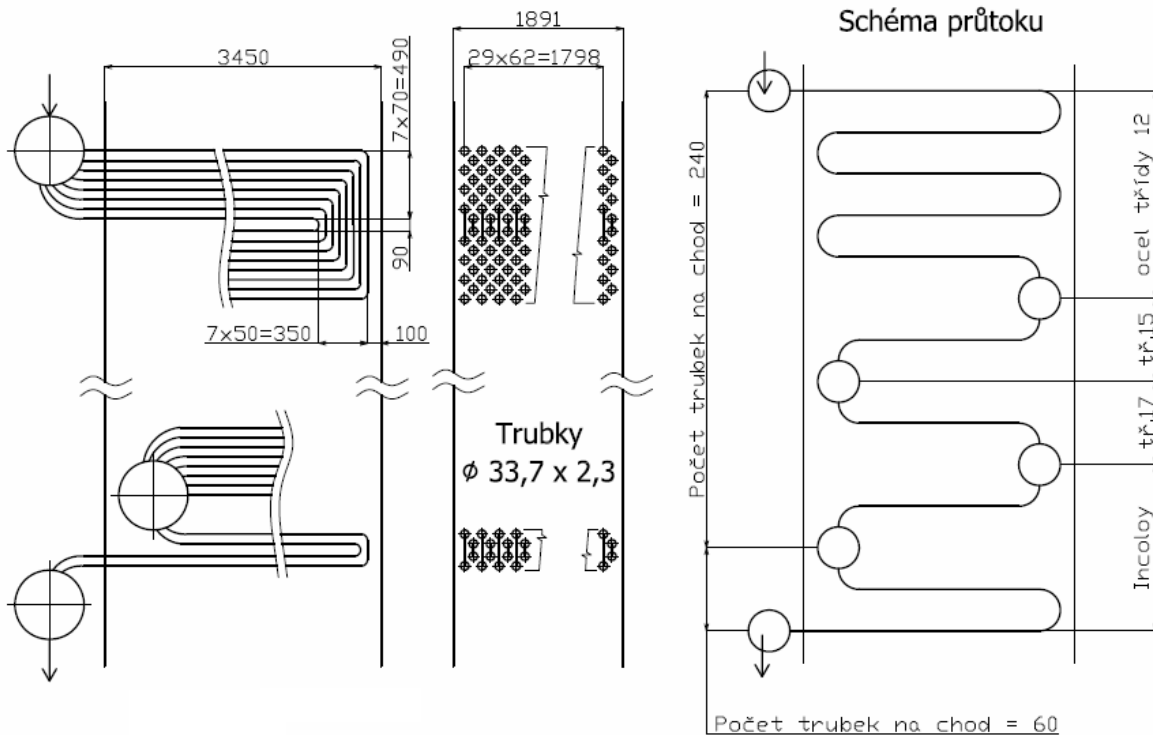
*Poznámka: Hodnota teploty uvedená u páté sekce v závorce platí pro žebrované trubky.

Tab. 1.2 Materiály použité v jednotlivých sekcích OPVS [1].

Alternativa 2

Tato alternativa, znázorněna spolu s hlavními rozměry na obr. 1.3, je rozdělena do pěti sekcí. I v tomto případě se jednotlivé sekce liší nejen materiálem trubek, ale i počtem trubkových chodů a řad.

První sekce je tvořena dvěma chody po dvou řadách, druhá, třetí a čtvrtá sekce jsou tvořeny jedním chodem obsahujícím osm řad a pátou sekci tvoří pět chodů rovněž po osmi řadách. Celý výměník je navržen jako protiproudý.

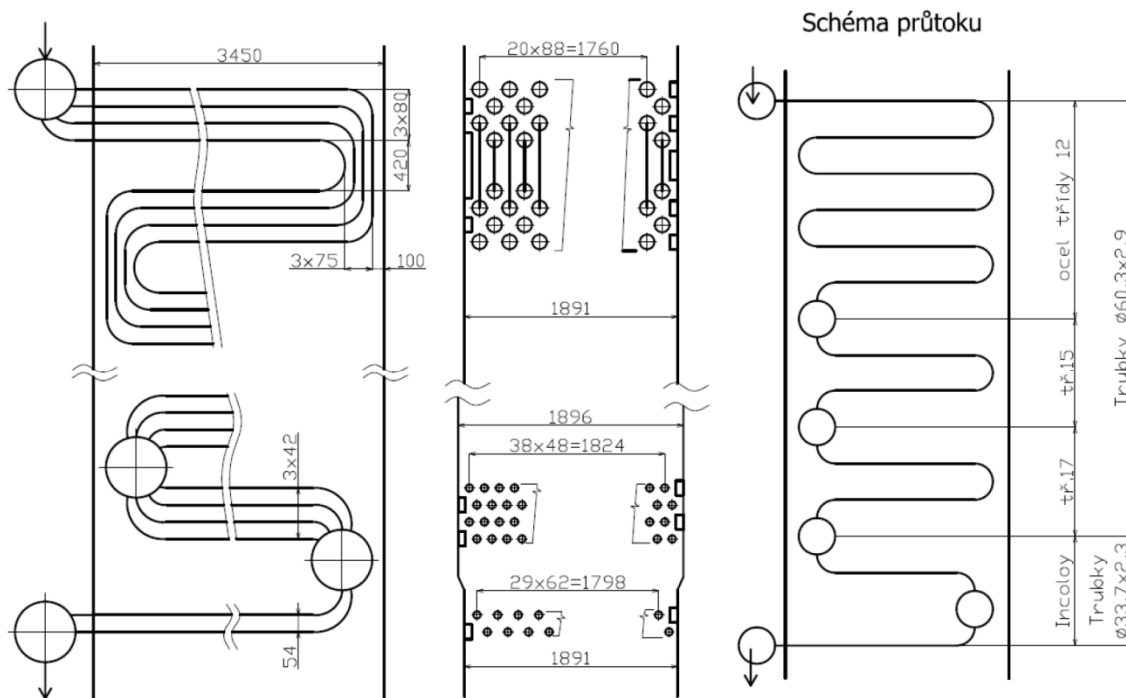


Obr. 1.3 Schéma a hlavní rozměry alternativy 2 [23].

Alternativa 3

Poslední alternativa, jejíž základní geometrie a rozměry jsou znázorněny na obr. 1.4, je sestavena, obdobně jako předchozí dvě alternativy, z pěti sekcí.

První sekce je tvořena jedním chodem o dvou řadách, druhá sekce má jeden chod se čtyřmi řadami, třetí a čtvrtá sekce se sestává ze dvou chodů po čtyřech řadách a pátou sekci tvoří šest chodů rovněž po čtyřech řadách.



Obr. 1.4 Schéma a hlavní rozměry alternativy 3 [23].

Detailní popis geometrie jednotlivých alternativ je uveden v kapitole 6.1., která se zabývá jejich kontrolním výpočtem.

Spaliny pro OPVS (o objemovém složení: Ar=0,86 %; CO₂=5,14 %; N₂=73,38 %; O₂=9,67 %; H₂O=10,95 % a požadované vstupní teplotě do OPVS: 1200 °C) jsou generovány ve spalovací komoře plynovým hořákem spalujícím zemní plyn.

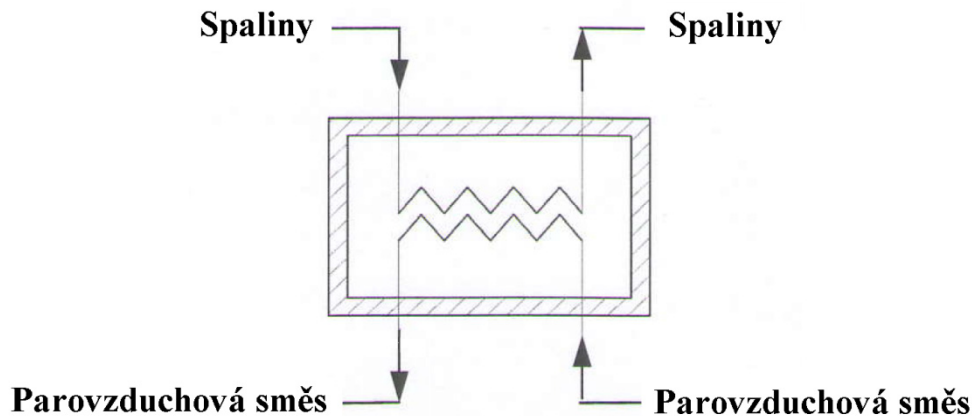
Blok OPVS má být navržen na jmenovitý výkon zařízení, jenž odpovídá provoznímu režimu 25.36 % PVS (hmotnostní % páry v PVS) s teplotou ohřevu PVS 835 °C, viz tab. 1.1.

Dovolená tlaková ztráta, pro podmínky nominálního výkonu z tab. 1.1, byla specifikována na straně spalin na 1500 Pa (1,5 kPa) a na straně PVS na 10000 Pa (10 kPa).

Úkolem je provést tepelně-hydraulickou kontrolu tří uvedených alternativ OPVS (viz obr. 1.2 až obr. 1.4) a na základě obdržených výsledků doporučit technicko-ekonomicky nejvhodnější alternativu.

1.2. Zadání vysokoteplotní aplikace 2

Předmětem vysokoteplotní aplikace 2 je návrh vysokoteplotního výměníku parovzduchové směsi, označeného CS-AMH, který bude součástí vyvíjeného integrovaného zdroje pro bioplynové stanice s vyšší účinností výroby elektřiny s možností kogenerace. Principiální schéma výměníku je znázorněno na obr. 1.5.



Obr. 1.5 Principiální zadávací schéma výměníku CS-AMH [2].

Zdrojem tepla pro vysokoteplotní výměník tepla CS-AMH jsou spaliny ze spalování bioplynu produkované plynovými spalovacími motory kogeneračních jednotek. Tab. 1.3 uvádí složení spalin z motorů kogeneračních jednotek.

Koncentrace složek spalin			
Složka	[% _{hm}]	Složka	[% _{hm}]
CO ₂	14,98	SO ₂	0,572
N ₂	68,18	Ar	1,144
H ₂ O	7,789	O ₂	7,335

Tab. 1.3 Koncentrace složek spalin ze spalování bioplynu [2].

Teplota spalin z kogeneračních jednotek v předpokládaném místě napojení na výměník CS-AMH je 600 °C. Je požadováno, aby vysokoteplotní výměník tepla CS-AMH byl proveden v protiproudém zapojení. Ohříváním médiem je komprimovaná parovzduchová směs (PVS), jejíž parametry jsou spolu s ostatními parametry výměníku CS-AMH pro nominální provozní režim uvedeny v tab.1.4.

Médium	Veličina	Hodnota	Jednotka
PVS	p_{PVSin}	4,306	bar(abs.)
	T_{PVSin}	98,9	°C
	T_{PVSout}	529,8	°C
	w_{PVS}	11,81	% hm.
	m_{PVS}	1,291	kg·s ⁻¹
	Δp_{PVS}	10 až 14	kPa
Spaliny	T_{spin}	600	°C
	T_{spout}	144	°C
	m_{sp}	1,24	kg·s ⁻¹
	Δp_{sp}	4	kPa
Bilanční výkon	P_{CS-AMH}	653	kW

Tab. 1.4 Zadávací parametry nominálního provozního režimu výměníku CS-AMH [2].

Úkolem je pro zadané pracovní podmínky a dovolené tlakové ztráty pracovních látek, specifikované v tab. 1.4, nalézt nejvhodnější řešení výměníku tepla z hlediska minimální plochy výměny tepla, resp. hmotnosti výměníku, je-li požadováno řešit výměník jako trubkový výměník tepla se segmentovými přepážkami. Je požadováno, aby pro řešení výměníku bylo uvažováno s potrubím o vnějším průměru 15,0 mm a tloušťkou stěny 1,5 mm.

Současně je za účelem minimalizace plochy, resp. hmotnosti výměníku požadováno nalézt vhodnou variantu zapojení pracovních látek ve výměníku (varianta 1: spaliny vně trubek a PVS uvnitř trubek; varianta 2: PVS vně trubek a spaliny uvnitř trubek).

2. Přehled a charakteristika konvenčních konstrukcí výměníků tepla používaných pro vysokoteplotní aplikace

V současné době existuje celá řada různých typů výměníků tepla. Jednotlivé typy se mohou lišit provedením, geometrií a tepelně-hydraulickými vlastnostmi. Tyto odlišnosti pak předurčují vhodnost, či nevhodnost daného typu výměníku pro určité aplikace. Současně s různými typy výměníků tepla existují i různé přístupy k jejich členění.

2.1. Základní dělení výměníků tepla

Mezi základní dělení výměníků tepla patří následující rozdělení:

- A) Dle provedení ploch zúčastňujících se přenosu tepla;
- B) Dle vzájemného směru a smyslu proudění obou pracovních látek;
- C) Dle konstrukčního provedení teplosměnných ploch.

A) Rozdělení výměníků tepla podle provedení ploch zúčastňujících se přenosu tepla

Rekupační výměníky

Pracovní látky jsou odděleny pevnou stěnou o určité tloušťce. Tato stěna odděluje obě média od sebe tak, že nedochází k jejich mísení. Tepelná energie přechází z jedné pracovní látky do druhé přes tuto stěnu, jež současně tvoří plochu výměny tepla [4, 5, 6].

Regenerační výměníky

Regenerační výměníky využívají pro přenos tepla akumulární hmotu, která se střídavě zahřívá a ochlazuje a tím předává teplo do proudu jedné látky a odebírá ho látce druhé. Přenos tepla se uskutečňuje prostřednictvím pohyblivé nebo nepohyblivé výplně [4, 5, 6].

Směšovací výměníky

Sdílení tepla probíhá přímým stykem obou pracovních látek. Směšovací výměníky jsou výměníky, v nichž přenos tepla (a většinou i přenos hmoty) nastává při přímém styku plynu a kapaliny [3].

B) Rozdělení výměníků tepla podle směru a smyslu proudění pracovních látek

Souproudé uspořádání

Směry os teplého a studeného proudu jsou rovnoběžné a vektory rychlostí mají stejný smysl. Souproudé uspořádání využívá teplotní spád s nejmenší efektivitou a výstupní teplota ohřivaného média je vždy nižší než výstupní teplota ochlazovaného média. Jeho výhodou

využitelnou v některých případech je nižší teplota stěny teplosměnného povrchu než u protiproudého uspořádání (viz dále).

Protiproudé uspořádání

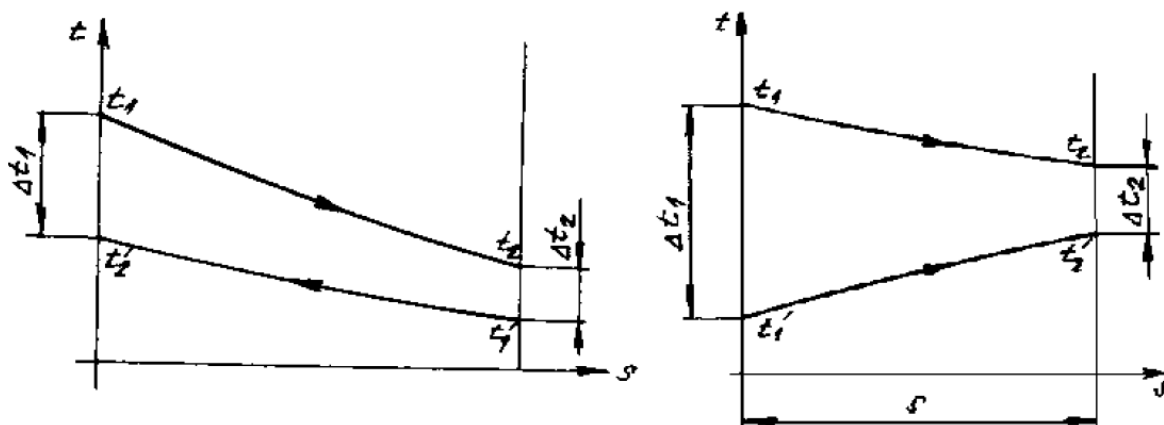
Směry os proudů jsou rovnoběžné, avšak vektory rychlostí mají opačný smysl. Toto uspořádání využívá teplotního spádu s největší efektivitou a výměníky tohoto typu umožňují dosažení nejvyšší teploty ohřívaného média nebo nejnižší teploty ochlazovaného média.

Křížové uspořádání

Osy proudů jsou mimoběžné a v kolmém průmětu spolu svírají úhel 90° . Výměníky tohoto typu mají jisté výhody z hlediska intenzifikace přenosu tepla a jejich konstrukční řešení je obvykle jednoduché [3].

Výměníky s kombinovaným prouděním

Kombinované proudění (tj. vícenásobně souproudé, protiproudé a křížové provedení) je kompromisní řešení mezi požadavky tepelné efektivnosti a snadné konstrukce. Počet chodů není omezen a při větším počtu chodů se takové uspořádání blíží protiproudému, popř. souproudému uspořádání. Teplotní spád je však využit s menší efektivitou než při čistém protiproudu [3].



Obr. 2.1 Proudění ve výměnících (protiproud, souproud) [5].

C) Rozdělení výměníků tepla podle konstrukčního provedení teplosměnné plochy

Výměníky trubkové

Teplosměnným elementem jsou přímé nebo vhodně tvarované trubky, jejichž povrch může být hladký nebo opatřený žebrováním. Průřez trubek je nejčastěji kruhový, může však také být oválný nebo kosočtvercový. Vzájemná orientace proudů je obvykle protiproudá. Výhodou je jednoduchá výroba a protiproudé uspořádání při současném využití příčného

obtékání trubek pracovní látkou na vnější straně. Nevýhodou je nutnost výměny celé trubky v případě jejího porušení [3].

Výměníky deskové

Teplosměnným elementem je rovinná deska, která může být hladká, profilovaná, spirálovitě vinutá, popř. žebrovaná. Uspořádání toku pracovních látek může být protiproudé, souprroudé, nebo s křížovým tokem.

Výměníky bez teplosměnných ploch

Jedná se převážně o výměníky směšovací. Častou aplikací je například chlazení spalin nástríkem vody. Za výměník bez teplosměnných ploch lze považovat i chladicí věž, kde se ke chlazení vody používá okolního vzduchu [3].

2.2. Bližší charakteristika konvenčních konstrukcí výměníků tepla používaných pro vysokoteplotní aplikace

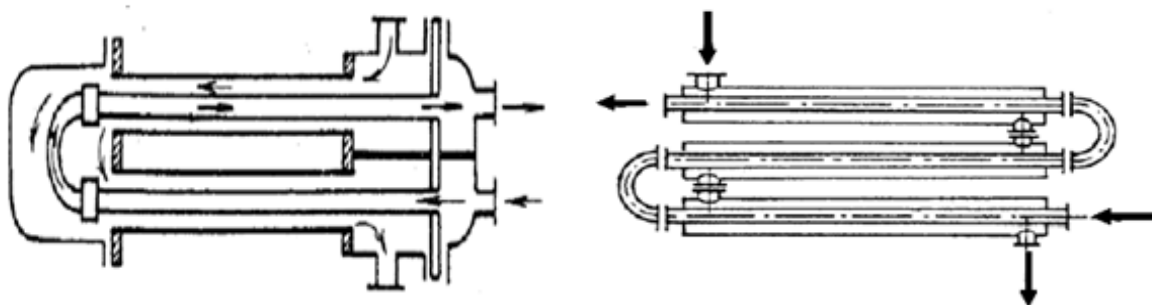
Následující pasáž bude zaměřena na popis čtyř základních typů výměníků tepla a na posouzení jejich předností, či nedostatků pro vysokoteplotní aplikace. Popisovány budou výměníky typu trubka v trubce, výměníky se svazkem trubek v plášti, deskové výměníky a výměníky s příčně obtékaným svazkem trubek.

2.2.1. Výměník tepla typu trubka v trubce

Svou konstrukcí je tento výměník nejjednodušším typem výměníku tepla. Zpravidla je sestaven ze dvou trubek různého průměru, kdy jedna je soustředně umístěna uvnitř druhé. Obě média, proudící uvnitř i vně trubky menšího poloměru, proudí souběžně v souproudu, nebo v protiproudu. Tyto výměníky jsou konstruovány v rozebíratelném, nebo nerozebíratelném provedení, přičemž vnitřní trubka může být hladká, žebrovaná, nebo jinak upravená za účelem intenzifikace přestupu tepla.

Výměníky tepla typu trubka v trubce jsou zpravidla používány do teplot 180 až 200 °C a do tlaku 5 MPa. U aplikací, které jsou náročnější z hlediska vyššího tlaku, popř. vyšší teploty, jsou výměníky kompletně svařované [3].

Výměníky tepla typu trubka v trubce jsou používány zejména u aplikací s nízkými výkony.



Obr. 2.2 Výměník typu trubka v trubce v rozebíratelném a nerozebíratelném provedení [9].

Jak bylo uvedeno výše, výměníky mohou být sestaveny buď v nerozebíratelném, nebo rozebíratelném provedení, přičemž nerozebíratelné provedení je zpravidla používáno pro aplikace, kde není potřeba čištění mezitrubkového prostoru a teplotní rozdíl mezi pracovními látkami není vyšší než 20 °C. U rozebíratelného provedení výměníku je údržba snazší a výměník je možno použít i tehdy, je-li teplotní rozdíl mezi pracovními látkami vyšší než 20 °C [5, 11, 13, 14, 15].



Obr. 2.3 Trubkový rekuperační výměník tepla typu trubka v trubce [11].

2.2.2. Trubkový výměník tepla se svazkem trubek v plášti

Trubkové výměníky tepla se svazkem trubek v plášti jsou v praxi nejčastěji používaným typem výměníků. Tyto výměníky jsou vhodné pro plynná i kapalná média, včetně jejich fázových změn, a jsou též používány pro vysokotlaké a vysokoteplotní aplikace.

Typický výměník tepla se svazkem trubek v plášti se sestává z pláště, svazku trubek, trubkovic, vstupních a výstupních komor, popř. i obrátových komor, a přepážek. Vzájemná orientace proudů se v průběhu jejich toku výměníkem mění a výsledný tok je dán určitou kombinací souproudu, protiproudu a křížového toku. Nikdy se však nejedná o čistý sou proud či protiproud, tak jak jej známe z výměníku tepla typu trubka v trubce. Nicméně s rostoucím počtem chodů se lze přiblížit k ideálnímu protiproudému uspořádání. Proud může být dále rozdělen podélnými i příčnými přepážkami (segmentovými, diskovými, šroubovicovými, tyčovými) [3].

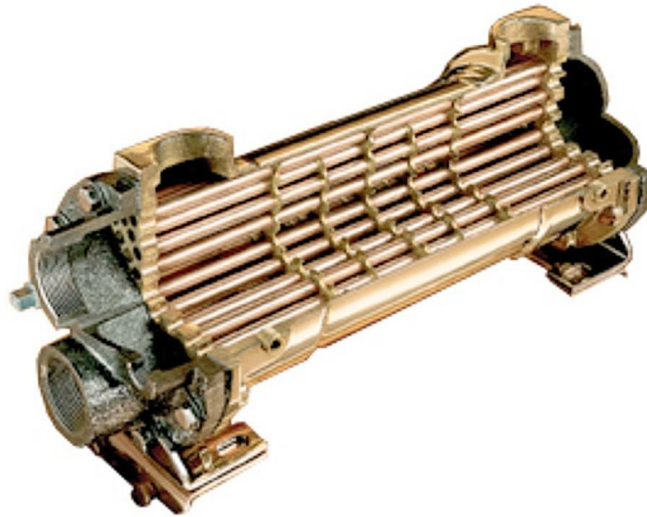
Výměníky se svazkem trubek v plášti jsou nejpoužívanějšími výměníky tepla v chemickém a petrochemickém průmyslu, a to s různými konstrukčními obměnami. Výměníky jsou dostatečně masivní, snesou tedy obvyklá namáhání v provozu. Dají se většinou snadno čistit a části, které jsou nejčastěji předmětem závad (těsnění a trubky), mohou být bez obtíží vyměněny [3].

Tyto výměníky jsou zpravidla používány pro aplikace, ve kterých se teploty pohybují do 800 °C a tlaky do 140 MPa pro trubky a 30 MPa pro plášť [3].

Existuje několik základních konstrukčních variant těchto výměníků tepla, z nichž některé jsou pro vysokoteplotní aplikace vhodnější než jiné. Výčet variant používaných pro vysokoteplotní aplikace je uveden dále.

- 1) Výměník tepla se segmentovým přepážkovým systémem s pevnou trubkovnicí, viz obr 2.4.

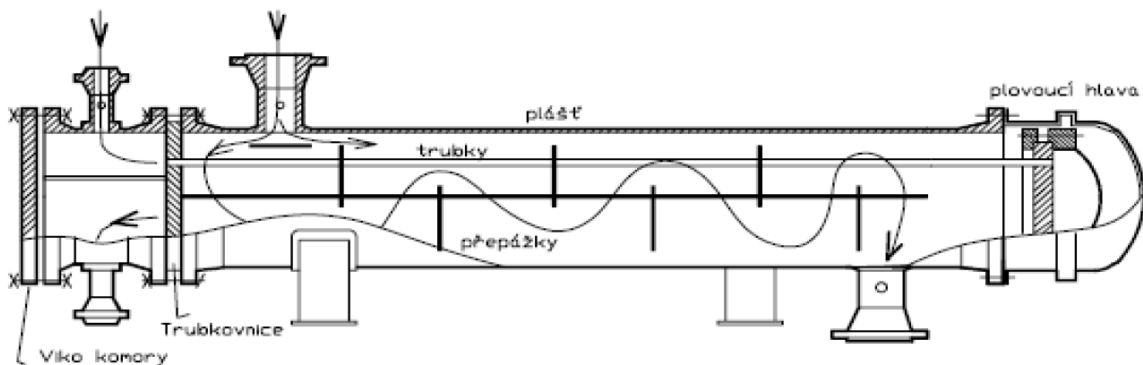
Pro vysokoteplotní aplikace s větším rozdílem teplot mezi jednotlivými pracovními látkami nelze z důvodu rozdílné teplotní roztažnosti trubek a pláště tuto variantu použít jako takovou a je ji nutno doplnit vlnovým kompenzátorem v plášti.



Obr. 2.4 Výměník tepla se segmentovým přepážkovým systémem s pevnou trubkovnicí [17].

- 2) Výměník tepla se segmentovým přepážkovým systémem s plovoucí hlavou, viz obr. 2.5.

Tento typ je vhodnější pro aplikace s větším teplotním rozdílem mezi pracovními látkami, neboť plovoucí hlava kompenzuje rozdílnou teplotní dilataci trubek a pláště.



Obr. 2.5 Výměník tepla se segmentovým přepážkovým systémem s plovoucí hlavou [10].

- 3) Výměník tepla se segmentovým přepážkovým systémem s U-trubkami, viz obr. 2.6.

U těchto výměníků zpravidla nevznikají problémy s teplotními dilatacemi, neboť jeden konec trubkového svazku se může v plášti volně pohybovat. Problém však může nastat u aplikací s extrémní rozdílností teplot mezi pracovními látkami, kdy rozdíl mezi prodloužením jednoho trubkového chodu vůči druhému je natolik veliký, že jej kolena spojující oba chody již nedokážou účinně kompenzovat a může zde

dojít k trvalé deformaci, nebo ke vzájemnému dotyku některých trubek. Se zmenšujícím se poloměrem kolen se jejich kompenzační schopnost snižuje a riziko poškození tak narůstá.



Obr. 2.6 Svazek trubek U-trubkového výměníku [12].

Kromě výše zmíněných tří konstrukčních variant existují i další konstrukční varianty výměníků tepla se svazkem trubek v plášti lišící se například přepážkovým systémem, trubkovým systémem apod.

2.2.3. Deskové výměníky tepla

Deskové výměníky tepla patří mezi nejrozšířenější typy konvenčních výměníků tepla. Jak již bylo poznamenáno výše, jsou tyto výměníky sestaveny z desek, mezi kterými proudí pracovní látka, které mohou být plynného i kapalného skupenství, popř. může během tepelné výměny docházet k jejich odpařování, či kondenzaci.

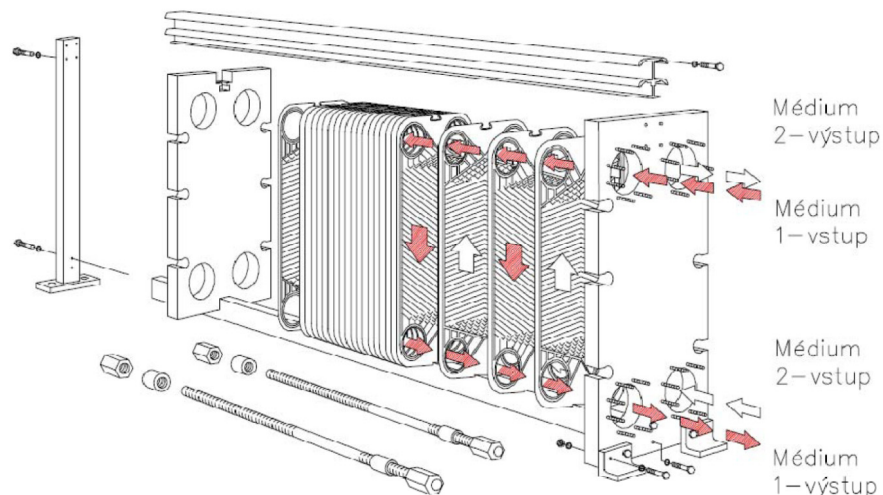
Dle typu použitých desek dělíme deskové výměníky tepla na výměníky s profilovanými deskami (viz obr. 2.7) a výměníky s hladkými deskami (viz obr. 2.8).

Hlavními výhodami deskových výměníků jsou vyšší účinnost než výměníky trubkové (3 až 5krát), malá hmotnost při zachování potřebných výkonových charakteristik, velká turbulence proudů pracovních látek spolu s malou tloušťkou stěny, možnost zvětšení nebo zmenšení teplosměnné plochy dle aktuálních požadavků, malá prostorová a půdorysná náročnost apod. Naopak, mezi hlavní nevýhody patří omezení z hlediska provozních tlaků a teplot, omezená odolnost vůči zanášení apod. [3].

Vzhledem k uvedeným omezením jsou výměníky tepla s profilovanými deskami zpravidla používány do teploty 250 °C a tlaku 1,6 MPa u skládaného typu tohoto výměníků a u pájených, popř. svařovaných, typů je jejich použití omezeno na teploty do 400 °C a tlaky do 2,5 MPa [3].

Deskové výměníky s hladkými deskami jsou zpravidla používány pro teploty do 600 °C a tlaky do 0,4 MPa [3].

Z výše uvedených teplotních a tlakových omezení je zřejmé, že deskové výměníky tepla nejsou vhodné pro vysokoteplotní aplikace řešené v této práci.



Obr. 2.7 Schéma skládaného deskového výměníku tepla s profilovanými deskami [10].



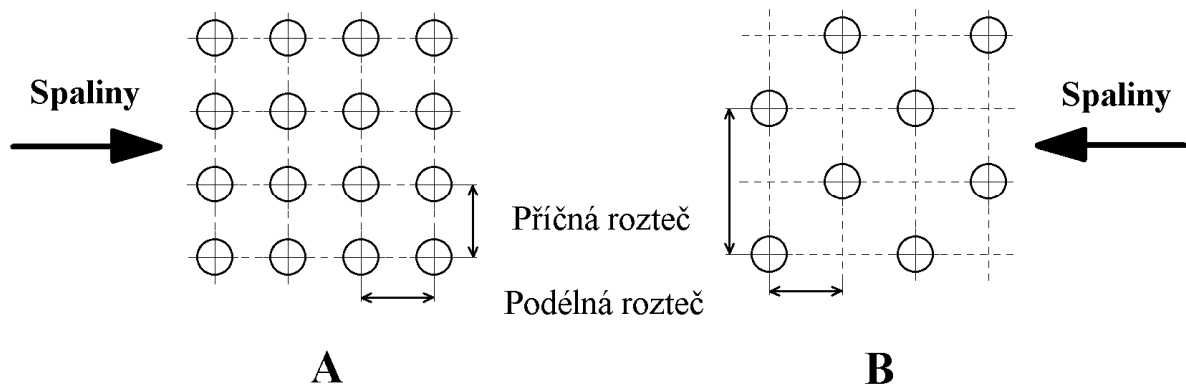
Obr. 2.8 Deskový výměník tepla s hladkými deskami [11].

2.2.4. Příčně obtékaný svazek trubek

Za příčně obtékaný svazek trubek se považuje paralelní uspořádání trubek, přičemž je tento ohříván, nebo sám ohřívá tekutinu proudící kolmo na něj. Mezitrubkovým prostorem zpravidla proudí ohřívající médium, velmi často se jedná o spaliny, které ohřívá pracovní látku proudící v trubkovém prostoru. Velikost teplosměnné plochy bývá zvětšována žebrováním, trnováním, popř. obdobným způsobem [3].

Výměník s příčně obtékaným svazkem trubek je obvykle používán do teploty stěny 600 °C pro hladké trubky a do 400 °C pro žebrované trubky. Nicméně při vhodné volbě materiálu trubek může být použit i pro teploty okolo 1000 °C, viz kapitola 6. Tlaky se mohou pohybovat do 140 MPa pro trubkový prostor a pro mezitrubkový prostor je maximální velikost tlaku závislá na konstrukci a materiálu pláště [3].

Na obr. 2.9 jsou schematicky znázorněny dvě možnosti uspořádání trubek ve svazku spolu s vyznačením umístění roztečí, které je převzato ze softwaru HTRI.



*Obr. 2.9 Schematické znázornění uspořádání trubek v příčně obtékaném svazku;
A - za sebou v zákrytu, B – vystřídané.*

3. Základní výpočtové vztahy pro výpočet výměníku tepla

3.1. Úvod do problematiky analytického řešení výměníků tepla

Za účelem stanovení závislosti mezi tepelným tokem \dot{q} , plochou výměny tepla A , teplotami jednotlivých pracovních látek na vstupu, popř. výstupu z výměníku a rychlostmi toku medií byly zformulovány základní vztahy, ze kterých se vychází při analytickém řešení výměníků tepla. Dle zákona zachování energie platí:

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_C + \dot{Q}_Z \quad (3.1)$$

kde

\dot{Q}_H tepelný výkon přiváděný do výměníku horkým médiem, [W];

\dot{Q}_C tepelný výkon přenesený do chladného média, [W];

\dot{Q}_Z tepelné ztráty, [W].

Jelikož tepelné ztráty \dot{Q}_Z u běžných zaizolovaných zařízení nepřekračují 5 % [16], je možno tyto zanedbat a rovnici (3.1) upravit do tvaru:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_H = \dot{Q}_C \quad (3.2)$$

kde

\dot{Q} tepelný výkon výměníku, tj. teplo přijaté/odevzdané pracovní látkou za časovou jednotku, [W].

Pro obě pracovní látky lze vztah (3.2) upravit do tvaru tzv. bilanční rovnice.

$$\dot{Q} = \dot{m}_H \cdot \bar{c}_{pH} \cdot (t_{H,i} - t_{H,o}) = \dot{m}_C \cdot \bar{c}_{pC} \cdot (t_{C,o} - t_{C,i}) \quad (3.3)$$

kde

\dot{m}_H, \dot{m}_C hmotnostní průtok horkého, resp. chladného média, [kg.s⁻¹];

$\bar{c}_{pH}, \bar{c}_{pC}$ střední měrná tepelná kapacita horkého, resp. chladného média, [J.K⁻¹.kg⁻¹];

$t_{H,i}, t_{H,o}$ teplota horkého (tedy ochlazovaného) média na vstupu, resp. výstupu, [°C];

$t_{C,i}, t_{C,o}$ teplota chladného (tedy ohřivaného) média na vstupu, resp. výstupu, [°C].

Velikost měrné tepelné kapacity závisí na okamžité teplotě pracovní látky. Ta se však během průchodu výměníkem mění a tudíž se mění i hodnota měrné tepelné kapacity. Pro výpočty se tedy používá střední měrná tepelná kapacita získaná z následujícího vztahu:

$$\bar{c}_{pH} = \frac{I}{t_{H,i} - t_{H,o}} \int_{t_{H,i}}^{t_{H,o}} f c_{pH}(t) dt \quad (3.4a)$$

pro horké médium, popř.

$$\bar{c}_{pC} = \frac{I}{t_{C,o} - t_{C,i}} \int_{t_{C,i}}^{t_{C,o}} f c_{pC}(t) dt \quad (3.4b)$$

pro chladné médium,

kde
 \bar{c}_{pH} , \bar{c}_{pC} měrná tepelná kapacita horkého, resp. chladného média, $[J.K^{-1}.kg^{-1}]$.

Přenos tepelného výkonu výměníkem popisuje tzv. přenosová rovnice, která udává závislost mezi tepelným tokem \dot{Q} , plochou výměny tepla A , středním teplotním rozdílem ΔT_m a součinitelem prostupu tepla k následovně:

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (3.5)$$

kde
 k součinitel prostupu tepla, $[W.m^{-2}.K^{-1}]$; viz (3.6);
 A plocha výměny tepla, $[m^2]$;
 ΔT_m střední teplotní rozdíl, $[K]$, viz (3.7).

Pro stanovení tepelného výkonu z rovnice (3.5), popř. pro stanovení plochy výměny tepla z téže rovnice, je nutno znát velikost součinitele prostupu tepla k . Tento součinitel popisuje vliv termomechanických vlastností pracovních látek i samotného materiálu výměníku tepla na celkový tepelný tok z jedné pracovní látky do druhé. Součinitel prostupu tepla k je dán následující rovnicí:

$$k = \frac{1}{\frac{d_o}{d_i} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} + R_{z1} \right) + \frac{d_o}{2 \cdot \lambda_{mt}} \cdot \ln \left(\frac{d_o}{d_i} \right) + \left(\frac{1}{\alpha_2} + R_{z2} \right)} \quad (3.6)$$

kde
 d_o , d_i vnější, resp. vnitřní průměr potrubí, $[m]$;
 α_1 , α_2 součinitel přestupu tepla na straně trubkového, resp. mezitrubkového prostoru výměníku tepla, $[W.m^{-2}.K^{-1}]$;
 R_{z1} , R_{z2} součinitel zanášení v trubkovém, resp. mezitrubkovém prostoru, $[m^2.K.W^{-1}]$;
 λ_{mt} tepelná vodivost materiálu potrubí, $[W.m^{-1}.K^{-1}]$.

Další významnou proměnnou nacházející se v základních výpočtových vztazích je tzv. střední teplotní rozdíl ΔT_m (3.7), který je závislý na maximálním (Δt_{max}) a minimálním (Δt_{min}) rozdílu počátečních, popř. koncových teplot horkého a studeného proudu. Např. u protiproudého uspořádání se bude jednat o rozdíl teploty teplého proudu na výstupu a studeného proudu na vstupu, respektive o rozdíl teploty teplého proudu na vstupu a studeného na výstupu, viz obr. 3.1. Jako Δt_{max} je označená vyšší a jako Δt_{min} nižší získaná hodnota.

Ve vztahu pro výpočet středního teplotního rozdílu ΔT_m dále figuruje člen ε , který se nazývá opravný součinitel středního logaritmického teplotního rozdílu (někdy se též nazývá a označuje jako korekční faktor F) [16] a upravuje hodnotu středního logaritmického teplotního rozdílu pro případ vícechodého trubkového výměníku.

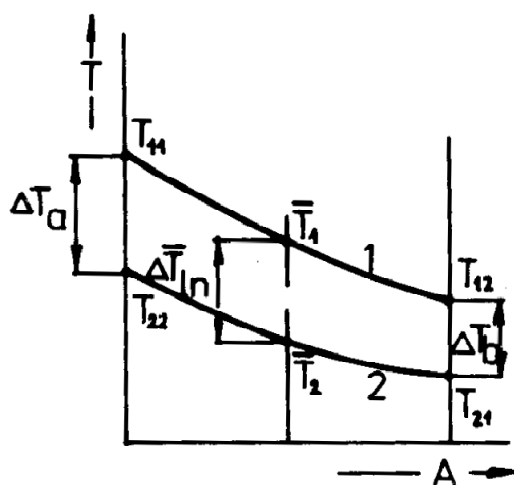
$$\Delta T_m = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}\right)} \cdot \varepsilon \quad (3.7)$$

kde

Δt_{max} teplotní rozdíl počátečních, popř. koncových teplot horkého a studeného proudu, [K];

Δt_{min} teplotní rozdíl počátečních, popř. koncových teplot horkého a studeného proudu, [K];

ε opravný součinitel středního logaritmického teplotního rozdílu, [-].



1 - teplejší pracovní látka
2 - chladnější pracovní látka

$$\Delta T_a = T_{11} - T_{22}$$

$$\Delta T_b = T_{12} - T_{21}$$

Obr. 3.1 Znárodnění třech možných teplotních rozdílů na křivkách průběhů teplot dvou pracovních látek [16].

4. Software HTRI

4.1. Charakteristika softwaru

Software HTRI je speciálně navržený a vysoce sofistikovaný nástroj pro analytická řešení tepelných výměníků. Tímto softwarem je možno navrhovat, kontrolovat a jinak početně analyzovat široké spektrum typů výměníků tepla. HTRI během výpočtu používá předdefinovaných výpočtových vztahů, které software pro daný typ úlohy volí dle nejnovějších poznatků z oblasti termomechaniky, mechaniky tekutin a mechaniky těles.

Software samotný se skládá z několika výpočtových modulů a z rozsáhlé databáze fyzikálních vlastností tekutin označovanou VMGThermo™.

Mezi výpočtové moduly patří:

- *modul Xace* umožňuje výpočty vzduchem chlazených tepelných výměníků a ekonomizérů;
- *modul Xfh* pro výpočty pecí;
- *modul Xist* umožňuje výpočty trubkových výměníků se svazkem trubek v plášti;
- *modul Xhpe* umožňuje výpočty výměníků s vlásenkovými trubkami;
- *modul Xjpe* pro výpočty výměníků typu trubka v trubce;
- *modul Xphe* pro výpočty deskových výměníků;
- *modul Xspe* umožňuje výpočty spirálových výměníků tepla.

Dalšími moduly je modul *Xtlo*, nebo *Xvib* umožňující analýzu vibrací.

Všechny výše zmiňované moduly sjednocuje přehledné uživatelské rozhraní. Součástí softwaru HTRI je také rozsáhlý uživatelský manuál a propracovaný modul nápovědy, který je možno spustit klávesou F1 kdykoli během práce v HTRI.

Po úspěšné instalaci a spuštění softwaru je k dispozici uživatelské rozhraní, které má ve srovnání s podobnými aplikacemi pracujícími v systému MS Windows standardní strukturu a design. Kromě obsahově standardní nabídky, jako je *File*, *Edit*, *View*, jsou zde k dispozici prvky *Tools* a *Help*, které obsahují velmi zajímavé utility. Jsou to *Exchanger selector* pro výběr vhodného výměníku tepla, *Quick calculation tool*, ve kterém se nachází převodník mezi jednotkami a možnost výpočtu vybraných parametrů potrubí, a *Tutorials...*, což je výukový modul práce v HTRI.

4.2. Principy a prvky ovládání softwaru

Pro práci v softwaru HTRI je vytvořeno přehledné uživatelské rozhraní typické pro aplikace pracující v systému MS Windows. Práci samotnou je možno začít pomocí záložky *File*, v níž je na výběr buď otevření existujícího souboru pomocí *Open Case...* (popř. *Import Case...*), nebo vytvoření nového souboru *New case* a následný výběr výpočtového modulu (viz výše), který odpovídá typu řešeného výměníku.

Po otevření, nebo vytvoření nového souboru je k dispozici první pracovní okno *Input Summary*, které je spolu s ostatními pracovními okny sjednoceno do stromové struktury v levé části pracovního prostředí. Toto sjednocení spolu se všemi pracovními okny náleží pod záložku *Input*, jenž je jednou ze sedmi záložek nalézajících se ve spodní části pracovního prostředí.

Jednotlivá pracovní okna pak slouží pro zadávání vstupních dat potřebných pro výpočet, který se spouští ikonkou *Run case*. Podrobný popis zadávání vstupních dat v jednotlivých pracovních oknech je uveden v příloze P1.

Po dokončení výpočtu jsou dle módu výpočtu, který byl zvolen během zadávání vstupních dat, k dispozici další ze sedmi záložek.

Záložky *Reports*, *Graphs*, *Drawings*, *Multiple Services* a *Session* jsou k dispozici pro všechny módy výpočtu a záložka *Design* je využita při módu *Design*. Bližší popis záložek a vybraných módů je proveden v příloze P1.

4.3. Typy výstupních protokolů

V následujícím textu budou popsány výstupní protokoly, které jsou sjednoceny pod záložkou *Reports*, a ze kterých je sestavena příloha P3 a příloha P4.

Output Summary – shrnutí hlavních vstupních i výsledných dat.

Data Check Messages a *Runtime Messages* – oznamovací protokoly pro určité nesrovnalosti (popř. chyby) zjištěné softwarem ve vstupních datech, resp. během výpočtu.

Final Results – podrobný soupis hlavních vstupních a výstupních dat, včetně zadané geometrie výměníku, střední teploty trubek v jednotlivých řadách a vybrané parametry, které byly použity během výpočtu.

Tubeside Monitor – procesní parametry média proudícího v trubkovém prostoru uvedené pro každou trubku zvlášť.

Outside Monitor – procesní parametry média proudícího v mezitrubkovém prostoru v okolí jednotlivých trubek; obdoba protokolu *Tubeside Monitor*.

Temperature Monitor – teploty, tlaky a hmotnostní podíly plynné složky obou pracovních látek uvedené pro jednotlivé trubky a jejich okolí.

Pressure Drop Monitor – teplota, hmotnostní podíl plynné složky, hmotnostní průtok a tlaková ztráta média proudícího v trubkovém prostoru uvedená po jednotlivých řadách trubek.

Property Monitor – jednotlivé teploty, hmotnostní podíly plynné složky a předané teplo pracovní látkou v mezitrubkovém prostoru uvedené pro každou trubku zvlášť.

Stream Properties – shrnutí vlastností a složení obou pracovních látek.

Input Reprint – shrnutí všech vstupních dat.

Výše uvedené výstupní protokoly obsahují v písemné podobě všechna výstupní, popř. i vstupní data. Zbývající záložky obsahují výstupní data především v grafické podobě, nebo obsahují souhrn průběžných výsledků získaných během jednotlivých výpočtových cyklů. Popis zbývajících šesti záložek a ostatních výstupních protokolů je uveden v příloze P1.

5. Srovnávací výpočet tlakových ztrát parovzdušné směsi ve 180° kolenech s použitím pěti vybraných výpočtových metod

Následující řádky jsou věnovány jednomu ze stále aktuálních témat v oblasti potrubních systémů. Jedná se o tlakové ztráty v potrubních příslušenstvích, konkrétně pak ve 180° ohybech (kolenech). Absolutně přesné analytické řešení této problematiky není doposud známo, a tudíž jsou pro výpočet těchto tlakových ztrát používány buď postupy (metody) využívající metody konečných prvků, nebo postupy analytické, v nichž vystupují určité koeficienty, jejichž hodnoty jsou většinou získávány experimentálně.

Obdobně je tomu i v případě softwaru HTRI, který pro výpočet tlakových ztrát v ohybech využívá analytického postupu podrobněji rozepsaného níže. Vzhledem k tomu, že obdobných analytických postupů existuje více, vyvstává zde otázka, která z metod je nejpresnější, popř. jsou-li si jednotlivé metody svými výsledky vzájemně rovný.

5.1. Přehled a rozbor metod pro výpočet tlakové ztráty ve 180° kolenech

Analytické stanovení tlakových ztrát tekutin na jednotlivých prvcích zařízení kromě přímého potrubí, tj. ventily, kolena apod. (dále jen armatury), je i v současnosti rozsáhlou problematikou. Přítomnost kolen, popř. jiných ohybů v potrubním systému, má za následek větší energetickou ztrátu, než jaká by byla u přímého potrubí, které by mělo délku daného ohybu.

Podle poměru poloměru zakřivení ohybu a vnitřního průměru potrubí mohou být ohyby klasifikovány jako mírné, tj. $R/ID \geq 1.5$, nebo jako ostré, tj. $R/ID < 1.5$ (v některých zdrojích je jako rozdělující uváděna hodnota tohoto poměru 2). Platí, že na ostrých ohybech je tlaková ztráta vyšší než na mírných ohybech [19].

5.1.1. Popis výpočtových metod

Bylo vybráno pět výpočtových metod, které patří mezi nejznámější, a za účelem jejich porovnání byl proveden výpočet tlakových ztrát parovzdušné směsi na 180° kolenech. Důvodem volby parovzdušné směsi je, že PVS je ohříváním médiem u vysokoteplotní aplikace 1 a 2 (viz kapitoly 1.1. a 1.2.). Tlakové ztráty byly počítány pro jeden tlak, dvě teploty a sedm rychlostí PVS. Dále bylo zvoleno pět průměrů potrubí a také byl do výpočtu zahrnut poměr mezi poloměrem zakřivení kolena a jeho vnitřním průměrem. Přesné hodnoty, ze kterých byly tlakové ztráty počítány, jsou uvedeny v příloze P2. Dle teplot a tlaku byly z tabelovaných hodnot stanoveny viskozity a hustoty PVS. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.1 níže.

Parametry PVS pro tlak 0.617 MPa		
Teplota [°C]	Dynamická viskozita [Pa.s]	Hustota [kg/m ³]
350	0.00002816	2.984
800	0.00004278	1.718

Tab. 5.1 Parametry PVS [19].

U metod používajících koeficienty K se výsledná tlaková ztráta dopočítává podle vztahu:

$$\Delta p = K \cdot \frac{G^2}{2 \cdot \rho} \quad (5.1)$$

kde

Δp	velikost tlakové ztráty, [Pa];
G	hmotnostní průtok, [kg·s ⁻¹ ·m ⁻²];
ρ	hustota tekutiny, [kg·m ⁻³];
K	ztrátový součinitel, [-].

Metoda ekvivalentní délky

První výpočet byl proveden použitím vztahu (5.2), ve kterém je použito ekvivalentní délky a součinitele tření (vypočtený dle Churchilova vztahu). Člen ID je vnitřní průměr potrubí.

$$\Delta p = \lambda \cdot L_{ekv} \frac{u^2}{2 \cdot ID} \cdot \rho \quad (5.2)$$

kde

λ	Darcyho součinitel tření, [-];
L_{ekv}	ekvivalentní délka, [m];
ID	vnitřní průměr potrubí, [m];
ρ	hustota proudícího média, [kg/m ³];
u	rychlost proudícího média, [m/s].

Metoda ekvivalentní délky dává dané armatuře hypotetickou délku, kterou by muselo mít přímé potrubí, aby na něm vznikala stejná tlaková ztráta jako na dané armatuře.

Metoda je založena na dvou předpokladech.

Zaprvé, velikosti armatur jsou charakterizovány odpovídajícím průměrem potrubí.

Zadruhé, vliv velikosti Reynoldsova čísla na tlakovou ztrátu třením je stejný jak pro danou armaturu, tak pro přímé potrubí.

Nicméně, žádný z uvedených předpokladů není přesný a kromě toho, povaha laminárního, nebo turbulentního proudění tekutiny armaturou je obecně odlišná od přímého potrubí [18]. Pro ventily a jiné geometricky složitější armatury je použití metody ekvivalentní délky nevhodné. V našem případě, kdy se jedná o 180° kolena, je metoda velmi konzervativní a hodnoty tlakové ztráty jsou podstatně vyšší než v případě dalších čtyř metod uvedených níže.

Z důvodů uvedených výše, včetně neshody hodnoty tlakové ztráty s ostatními metodami, lze učinit závěr, že metoda ekvivalentní délky je vhodná pouze pro rychlé výpočty tlakové ztráty potrubního systému a zvláště tehdy, dají-li se tlakové ztráty v ohybech a dalších armaturách považovat za minoritní, např. při vysokých hodnotách Reynoldsova čísla [19].

Metoda používající součinitel místního odporu

Druhý výpočet byl proveden metodou používající součinitel místního odporu (5.3). Součinitel místního odporu se stanovuje z tabelovaných hodnot. V našem případě jsou tyto hodnoty v závislosti na poměru poloměru zakřivení kolena a vnitřním průměru potrubí a úhlu zakřivení kolena, viz tab. 5.2. Poměr R/ID je roven přibližně 1 pro typ kolena „short“, tj. malý poloměr zakřivení, a přibližně 1.5 pro typ kolena „long“, tj. velký poloměr zakřivení. Úhel zakřivení kolena je 180° . Jelikož naše konkrétní poměry R/ID nejsou přesně rovny 1, popř. 1.5, bylo nutno přesnou hodnotu z tabelovaných hodnot získat interpolací.

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{u^2}{2} \cdot \rho \quad (5.3)$$

kde

ξ součinitel místního odporu, [-];
 u rychlost proudícího média, [m/s];
 ρ hustota proudícího média, [kg/m³].

R/ID	1	2	4	6	10
ξ	0,51	0,30	0,23	0,20	0,18

Tab. 5.2 Závislost součinitele místního odporu 180° kolena na poměru R/ID [20].

Výsledky tlakové ztráty při použití této metody jsou výrazně nižší než výsledky získané metodou ekvivalentní délky a zároveň jsou relativně podobné s výsledky z dalších uvedených metod. Z tab. 5.2 a vztahu (5.3) je dále patrné, že tlaková ztráta stanovená touto metodou není závislá na konkrétním průměru potrubí. Z tohoto důvodu je metoda vhodná pro hrubý odhad tlakové ztráty v potrubním systému, avšak pro získání přesných výsledků je nevhodná [19].

Hooperova 2-K metoda

Hooperova 2-K metoda, vyjádřená vztahem (5.4) pracuje s bezrozměrnými koeficienty K .

$$K = \frac{K_l}{Re} + K_{inf} \left(1 + \frac{25.4}{ID} \right) \quad (5.4)$$

kde

K_l, K_{inf} koeficienty dané tab. 5.3, [-];
 ID vnitřní průměr potrubí, [mm];
 Re Reynoldsovo číslo, [-].

Koeficient K nezávisí na drsnosti povrchu armatury ani na velikosti systému, ale je funkcí Reynoldsova čísla a geometrie daného prvku. Koeficient K je větší pro malé rozměry armatur, avšak se zvětšujícím se rozměrem armatury se již tolik nemění.

Nicméně člen $1/ID$ ve vztahu (5.4), zohledňující velikost prvku, nemůže přesně zohlednit široké spektrum velikostí různých armatur. Navíc pro vysoká Reynoldsova čísla, nebo v případě již zmíněných rozměrnějších armatur nejsou hodnoty Hooperova koeficientu K srovnatelné s naměřenými hodnotami.

V případě 180° kolena, kdy byl za ID dosazován vnitřní průměr a za členy K tabelované hodnoty, jsou výsledky srovnatelné s ostatními metodami, kromě metody ekvivalentní délky.

Velikost poměru R/ID	Typ připojení	K_1	K_{inf}
1	šroubovaný	1000	0.7
1	přírubový, svařovaný	1000	0.35
1.5	všechny typy	1000	0.3

Tab. 5.3 Hodnoty koeficientů pro 180° ohyby v rovnici (5.4) dle [18].

Darbyho 3-K metoda

V Darbyho 3-K metodě obdobně jako v Hooperově 2-K metodě figurují koeficienty K . 3-K metoda je rovněž závislá na velikosti vnitřního průměru potrubí, ze kterého je koleno vyrobeno, a na velikosti Reynoldsova čísla. Na rozdíl však od 2-K metody má Darbyho 3-K metoda má vyšší vypovídající hodnotu pro široké rozmezí hodnot Reynoldsova čísla, široké spektrum různých velikostí armatur a navíc dává dobré výsledky i pro laminární režimy proudění. Vztah pro výpočet ztrátového součinitele Darbyho metodou je ve tvaru:

$$K = \frac{K_1}{Re} + K_{inf} \left(1 + K_d \left(\frac{25.4}{ID} \right)^{0.3} \right) \quad (5.5)$$

kde

K_1, K_i, K_d koeficienty dané tab. 5.4, [-];
 ID vnitřní průměr potrubí, [mm];
 Re Reynoldsovo číslo, [-].

Hodnoty koeficientů K_1, K_i, K_d , z nichž vybrané jsou uvedeny v tab. 5.4, lze nalézt např. v literatuře [18, 21].

Velikost poměru R/ID	Typ připojení	K_1	K_i	K_d
1	šroubovaný	1000	0.23	4.0
1	přírubový, svařovaný	1000	0.12	4.0
1.5	všechny typy	1000	0.10	4.0

Tab. 5.4 Hodnoty koeficientů pro 180° ohyby v rovnici (5.5) dle [21].

V současné době je Darbyho 3-K metoda metodou uznávanou a používanou projekčními kanceláři při výpočtech tlakových ztrát v potrubních příslušenstvích.

Blevinsova metoda

V Blevinově metodě, kterou používá software HTRI, obdobně jako u metod 2-K a 3-K figurují koeficienty K . Na rozdíl však od ostatních metod je tato metoda podstatně složitější na výpočet. Postup výpočtu je závislý na velikosti Reynoldsova čísla a na poměru R/ID .

V této metodě jsou ohyby na potrubí (tedy i kolena) charakterizovány buď jako „ostré“, tj. $R/ID \leq 2$, nebo jako „mírné“, tj. $R/ID > 2$. V našem případě pro 180° kolena, kdy je $R/ID \approx 1$, popř. 1.5 (tudíž se jedná o kolena „ostrá“), a turbulentní režim proudění, byly hodnoty pro koeficienty K získány z tabelovaných hodnot pomocí interpolace a dopočítány použitím vztahu (5.6). Bližší postup výpočtu je uveden např. v [22].

$$K = K' \left(\frac{5(10^5)}{Re} \right)^{0.17} \quad (5.6)$$

kde

Re Reynoldsovo číslo, [-];

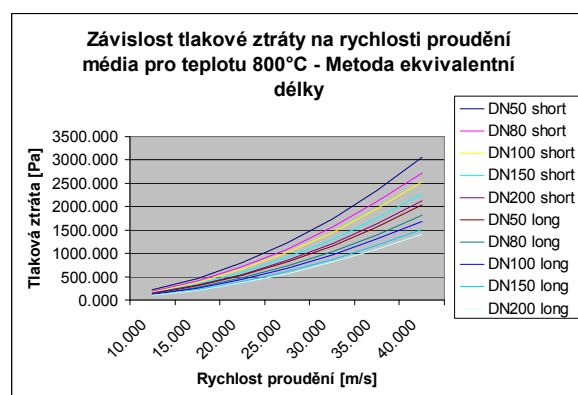
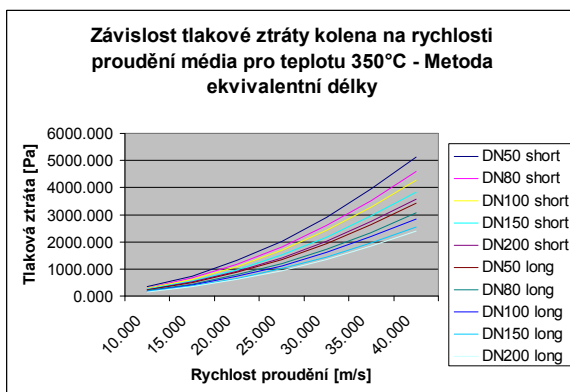
K' koeficient stanovený z tabelovaných hodnot, [-].

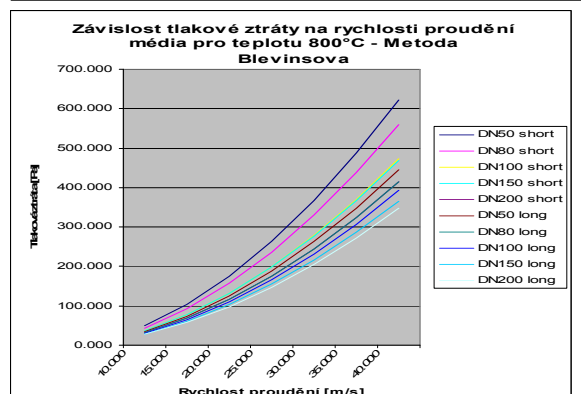
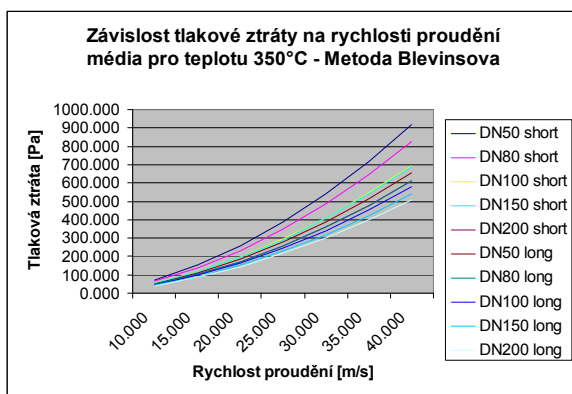
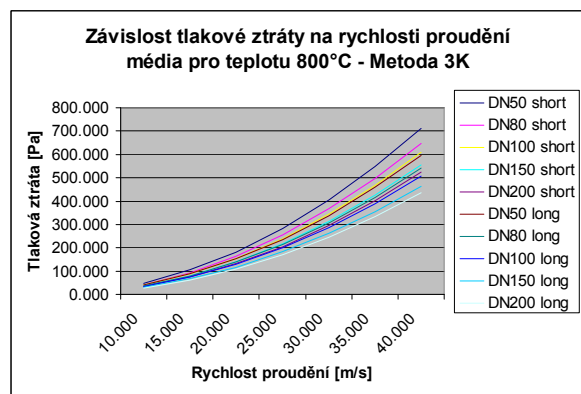
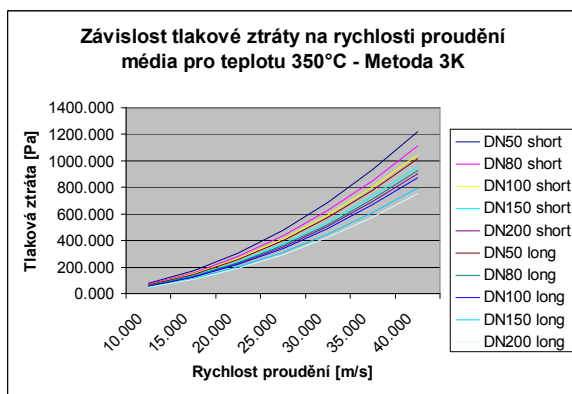
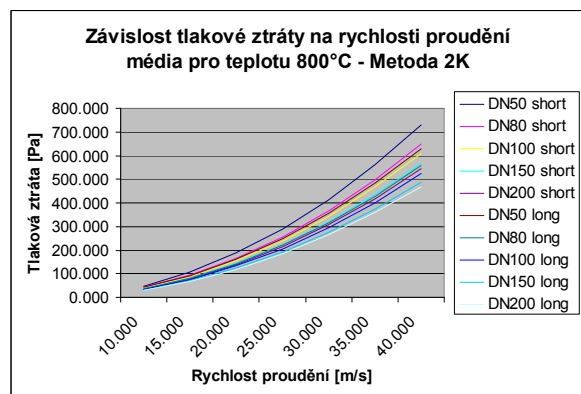
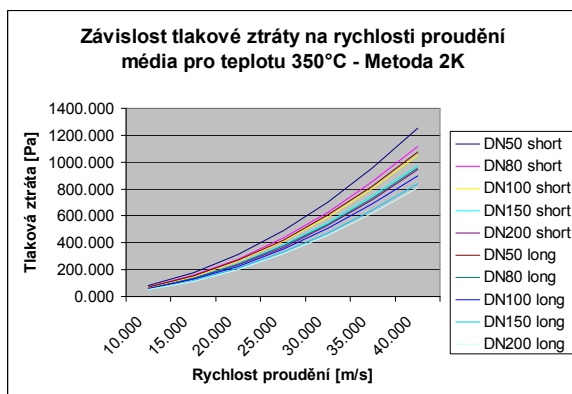
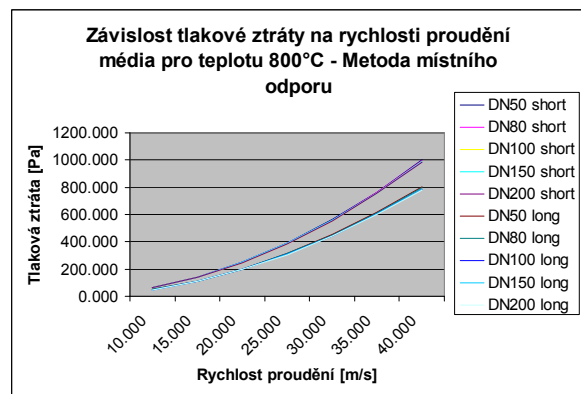
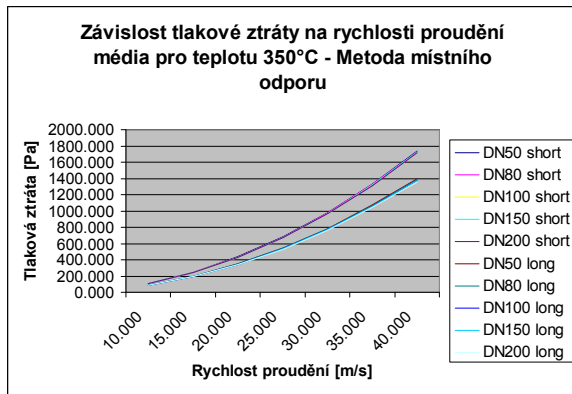
5.1.2. Porovnání výpočtových metod

Výpočet tlakové ztráty ve 180° kolenech byl proveden pro potrubí s následujícími parametry:

- průměry potrubí DN 50, DN 80, DN 100, DN 150 a DN 200;
- ostré i mírné ohyby, tj. $R/ID < 2$ (short), resp. $R/ID \geq 2$ (long);
- rychlosti proudění média 10, 15, 20 25, 30, 35 a 40 m/s.

Výsledky jsou v grafické podobě znázorněny na následujících grafech a v tabulkové podobě jsou uvedeny v příloze P2.





Obr. 5.1 Grafické znázornění závislosti tlakové ztráty na rychlosti proudění média pro teploty 350°C a 800°C [19].

5.1.3. Výběr vhodné metody výpočtu tlakové ztráty ve 180° kolenech

Z uvedených grafů, popř. z dat uvedených v příloze P2, je patrná závislost tlakových ztrát PVS na rychlosti proudění, průměru potrubí, poloměru ohybu a teploty PVS. Metoda ekvivalentní délky je z výše uvedených metod nejkonzervativnější a její výsledky jsou oproti ostatním metodám značně odlišné.

U ostatních metod je patrná jistá podobnost ve výsledcích tlakových ztrát. Z důvodu podobnosti výsledků získaných pomocí Blevinsovy metody, kterou používá software HTRI, a Darbyho 3-K metody, která je v současnosti obecně používána projekčními kancelářemi, lze učinit závěr, že hodnoty tlakových ztrát ve 180° kolenech získané během řešení dané úlohy v softwaru HTRI nebudou zbytečně vysoké, tak jak by tomu bylo v případě použití první uvedené metody (tj. metoda ekvivalentní délky).

Přesnější výpočet tlakové ztráty v kolenech je jeden z předpokladů pro optimálnější návrh výměníků tepla i přidružených zařízení.

6. Řešení vysokoteplotní aplikace 1 softwarem HTRI

V zadání vysokoteplotní aplikace 1 byly popsány tři alternativy provedení návrhu OPVS tvořeného svazky trubek umístěnými do spalínového kanálu (viz obr. 1.2, 1.3 a 1.4), u kterých má být proveden kontrolní výpočet zaměřený na ověření plnění výchozích požadavků, jež jsou uvedeny v tab. 6.1. a označeny žlutou barvou. Jmenovitě se jedná o výstupní teplotu PVS, maximální teplotu povrchu stěny trubek v radiační (nejexponovanější) sekci výměníku (materiálové omezení), tlakové ztráty na straně spalín i PVS a požadovaný výkon. Samotná tab. 6.1 pak shrnuje všechny výchozí požadavky dané zadavatelem.

Kontrola všech tří alternativ je provedena v softwaru HTRI a její podrobný popis je uveden níže.

Médium - umístění	Veličina	Hodnota	Jednotka
PVS - v trubkách	p_{PVSin}	6,109	bar(abs.)
	T_{PVSin}	220,3	°C
	T_{PVSout}	835,0	°C
	w_{PVS}	25,36	% hm.
	m_{PVS}	3,175	kg·s ⁻¹
	Δp_{PVS}	10,0	kPa
Spaliny - v plášti	T_{spin}	1200,0	°C
	T_{spout}	345,3	°C
	m_{sp}	2,517	kg·s ⁻¹
	Δp_{sp}	1,5	kPa
Bilanční výkon OPVS	P_{OPVS}	2663	kW
Tabulka 6.2: Materiálové omezení			
Sekce	Materiál	Teplota stěny	Jednotka
5	třídy 12	500 (490)*	°C
4	třídy 15	650	°C
3	třídy 17	750	°C
1 a 2	Niklové slitiny	950 (až 980)	°C

Tab. 6.1 Shrnutí požadavků daných zadavatelem s označením kontrolovaných parametrů [1].

6.1. Vstupní data a postup řešení

Během kontrolního výpočtu jednotlivých alternativ návrhu OPVS se vycházelo ze vstupních dat, z nichž některá byla daná zadavatelem a některá byla získána při výpočtech spojených s návrhem OPVS. Všechna vstupní data, která byla použita při kontrolním výpočtu jsou uvedena v tab. 6.2. Tato tabulka je rozdělena na čtyři části *a* až *d*, přičemž v části *a* jsou uvedeny především procesní parametry a v částech *b* až *d* geometrické parametry.

Tab. a

Alternativa	1	2	3	Alternativa	1	2	3
Teplota PVS na vstupu, [°C]	220,3	220,3	220,3	Teplota spalin na vstupu, [°C]	1200,0	1200,0	1200,0
Tlak PVS na vstupu, [kPa]	610,9	610,9	610,9	Tlak spalin na vstupu, [kPa]	101,325	101,325	101,325
Hmotnostní tok PVS, [kg/s]	3,175	3,175	3,175	Hmotnostní tok spalin, [kg/s]	2,517	2,517	2,517
Ohřívaná plocha, [m ²]	491	648	546	Ohřívaná délka trubek, [m]	3	3	3

Tab. b

Geometrie alternativy 1					
Parametr / číslo sekce	1. sekce	2. sekce	3. sekce	4. sekce	5. sekce
Vnější průměr potrubí x tloušťka stěny, [mm]	60,3 x 2,9	60,3 x 2,9	60,3 x 2,9	60,3 x 2,9	60,3 x 2,9
Počet chodů	2	2	2	4	6
Počet řad	2	8	8	16	24
Počet trubek v řadě	12	15	15	15	15
Rozteč - podélná / příčná, [mm]	420/110	80/90	80/90	80/90	80/90
Odsazení lichých řad, [mm]	62,35	14,85	14,85	14,85	14,85
Odsazení sudých řad, [mm]	62,35	59,85	59,85	59,85	59,85

Tab. c

Geometrie alternativy 2					
Parametr / číslo sekce	1. sekce	2. sekce	3. sekce	4. sekce	5. sekce
Vnější průměr potrubí x tloušťka stěny, [mm]	33,7 x 2,3	33,7 x 2,3	33,7 x 2,3	33,7 x 2,3	33,7 x 2,3
Počet chodů	2	1	1	1	5
Počet řad	4	8	8	8	40
Počet trubek v řadě	30	30	30	30	30
Rozteč - podélná / příčná, [mm]	70/62	70/62	70/62	70/62	70/62
Odsazení lichých řad, [mm]	14,15	14,15	14,15	14,15	14,15
Odsazení sudých řad, [mm]	45,15	45,15	45,15	45,15	45,15

Tab. d

Geometrie alternativy 3					
Parametr / číslo sekce	1. sekce	2. sekce	3. sekce	4. sekce	5. sekce
Vnější průměr potrubí x tloušťka stěny, [mm]	33,7 x 2,3	33,7 x 2,3	60,3 x 2,9	60,3 x 2,9	60,3 x 2,9
Počet chodů	1	1	2	2	6
Počet řad	2	4	8	8	24
Počet trubek v řadě	30	39	21	21	21
Rozteč - podélná / příčná, [mm]	54/62	42/48	80/88	80/88	80/88
Odsazení lichých řad, [mm]	14,15	7,15	13,50	13,50	13,50
Odsazení sudých řad, [mm]	45,15	31,15	57,50	57,50	57,50

Tab. 6.2 a – d Přehled vstupních dat jednotlivých alternativ použitých při kontrolním výpočtu návrhu OPVS [1, 23].

Po té co byl v softwaru HTRI spuštěn modul *Xace* umožňující výpočty vzduchem chlazených výměníků tepla a ekonomizérů, byla do příslušných kolonek zadána výše uvedená vstupní data, přičemž postup jejich zadávání byl následovný.

Po spuštění softwaru, výběru modulu *Xace* a přepnutí do požadované soustavy jednotek (v tomto případě do soustavy SI) je implicitně zobrazeno pracovní okno *Input Summary*. Zde se po přepnutí do módu simulace (*Simulation*) budou postupně zadávat vstupní hodnoty. Jsou to například hmotnostní tok, vstupní a výstupní teploty pracovních látek, rozměry potrubí apod. V dalších pracovních oknech je potřeba nadefinovat parametry potrubí v jednotlivých sekcích, geometrii spalínového kanálu a složení jednotlivých pracovních látek. Konkrétní postup práce se softwarem HTRI je uveden v příloze P1.

Jakmile jsou zadány všechny požadované vstupní hodnoty, je pomocí ikonky *Run case* spuštěn výpočet. Výsledky výpočtu jsou k dispozici v několika výstupních protokolech, viz. kapitola 4.3., přičemž výběr výsledných hodnot je uveden v tabulkách 6.3 až 6.5 v následující kapitole a kompletní výstupní protokoly jsou v příloze P3.

6.2. Hlavní výsledky alternativy 1

V tab. 6.3 níže jsou uvedeny hlavní výsledky kontrolního výpočtu alternativy 1. Z této tabulky jsou zřejmé následující skutečnosti.

Nejvyšší teplota stěny trubky je 922,30 °C, čímž je splněna podmínka, že maximální teplota trubky nesmí být vyšší než 950, popř. 980 °C (viz tab. 6.1).

Teplota spalin a teplota PVS na výstupu z výměníku je 296,05 °C, resp. 862,51 °C. Tyto teploty nejsou shodné s požadovanými teplotami.

Teplný výkon OPVS je 2796 kW a je v přibližné shodě s požadovaným výkonem.

Tlaková ztráta na straně spalin je 0,114 kPa a nepřekračuje tak dovolenou tlakovou ztrátu, která je 1,5 kPa. Velikost tlakové ztráty na straně PVS je 29,358 kPa, čímž téměř trojnásobně překračuje zadavatelem dovolenou hodnotu, která je 10 kPa.

Alternativa 1		
Parametr / Pracovní látka	Spaliny (mezitrubkový prostor)	PVS (trubkový prostor)
Teplota na výstupu, [°C]	296,05	862,51
Tlak na výstupu, [kPa]	101,212	581,551
Celková tlaková ztráta, [kPa]	0,114	29,358
Rychlost proudění na vstupu, [m/s]	4,54*	6,05
Rychlost proudění na výstupu, [m/s]		73,36
Nejvyšší teplota stěny trubky, [°C]	922,30	920,02
Tepelný výkon, [kW]	2796	

* Poznámka: Jedná se o střední rychlost proudění.

Tab. 6.3 Vybrané výsledky kontrolního výpočtu alternativy 1.

6.3. Hlavní výsledky alternativy 2

V tab. 6.4 níže, obdobně jako v předchozím případě, jsou uvedeny hlavní výsledky kontrolního výpočtu alternativy 2.

Nejvyšší teplota stěny trubky je 924,82 °C, čímž je i v tomto případě splněna podmínka maximální teploty stěny trubky, která nesmí být vyšší než 950, popř. 980 °C (viz tab. 6.1).

Teplota spalin na výstupu je 281,98 °C a teplota PVS na výstupu je 871,05 °C. Obdobně jako u alternativy 1 nejsou výstupní teploty pracovních látek shodné s požadovanými teplotami a v případě výběru alternativy 2 bude pravděpodobně zapotřebí blíže posoudit význam této neshody.

Tepelný výkon OPVS je 2836 kW, tudíž je v přibližné shodě s požadovaným výkonem.

Tlaková ztráta na straně spalin je 0,039 kPa, přičemž je tato hodnota nižší než hodnota dovolené tlakové ztráty. Nicméně, tlaková ztráta na straně PVS je 21,003 kPa, čímž je hodnota dovolené tlakové ztráty překročena přibližně o dvojnásobek.

Alternativa 2		
Parametr / Pracovní látka	Spaliny (mezitrubkový prostor)	PVS (trubkový prostor)
Teplota na výstupu, [°C]	281,98	871,05
Tlak na výstupu, [kPa]	101,288	589,906
Celková tlaková ztráta, [kPa]	0,039	21,003
Rychlost proudění na vstupu, [m/s]	2,29*	5,30
Rychlost proudění na výstupu, [m/s]		51,11
Nejvyšší teplota stěny trubky, [°C]	924,82	923,49
Tepelný výkon, [kW]	2836	

* Poznámka: Jedná se o střední rychlost proudění.

Tab. 6.4 Vybrané výsledky kontrolního výpočtu alternativy 2.

6.4. Hlavní výsledky alternativy 3

Výsledky poslední třetí alternativy, jenž jsou uvedeny v tab. 6.5, lze shrnout následovně.

Teplota spalin a teplota PVS na výstupu z výměníku je 307,49 °C, resp. 855,37 °C. Přestože tyto teploty nejsou shodné s požadovanými teplotami, tak v porovnání s předchozími alternativami, jsou jejich rozdíly nejmenší.

Nejvyšší teplota stěny trubky je 907,71 °C a splňuje tedy podmínku, že maximální teplota trubky nesmí být vyšší než 950, popř. 980 °C (viz tab. 6.1).

Tepelný výkon OPVS je 2763 kW a je v přibližné shodě s požadovaným výkonem.

Tlaková ztráta na straně spalin je 0,085 kPa a nepřekračuje tak dovolenou tlakovou ztrátu. Velikost tlakové ztráty na straně PVS je 11,165 kPa. I když tato tlaková ztráta překračuje dovolenou tlakovou ztrátu, tak na rozdíl od předchozích alternativ, kdy byla dovolená tlaková ztráta překročena až trojnásobně, je rozdíl mezi vypočtenou a dovolenou tlakovou ztrátou přibližně jen 10%.

Alternativa 3		
Parametr / Pracovní látka	Spaliny (mezitrubkový prostor)	PVS (trubkový prostor)
Teplota na výstupu, [°C]	307,49	855,37
Tlak na výstupu, [kPa]	101,242	599,744
Celková tlaková ztráta, [kPa]	0,085	11,165
Rychlost proudění na vstupu, [m/s]	3,54*	4,32
Rychlost proudění na výstupu, [m/s]		49,58
Nejvyšší teplota stěny trubky, [°C]	907,71	906,42
Tepelný výkon, [kW]	2763	

* Poznámka: Jedná se o střední rychlost proudění.

Tab. 6.5 Vybrané výsledky kontrolního výpočtu alternativy 3.

6.5. Shrnutí výsledků vysokoteplotní aplikace 1

Porovnáme-li výsledky jednotlivých alternativ se zadanými hodnotami uvedenými v tab. 6.1, je zřejmé, že žádná z alternativ stoprocentně nesplňuje požadavky zadání.

Při výběru vhodné alternativy bude tedy dle míry důležitosti plnění jednotlivých podmínek brána v potaz velikost rozdílu mezi vypočtenými a zadanými hodnotami. Pro zadavatele je jednou z nejdůležitějších podmínek plnění požadované tlakové ztráty. Tuto však, co se týče strany PVS, překračují všechny tři alternativy. Nicméně z důvodu, že alternativa 3 překračuje dovolenou tlakovou ztrátu na straně PVS nejméně a i ostatními parametry se nejvíce přibližuje požadovaným hodnotám, je tímto z hlediska plnění zadaných podmínek, uvedených v tab. 6.1, nejvhodnější alternativou pro budoucí realizaci vysokoteplotní aplikace 1.

7. Řešení vysokoteplotní aplikace 2 softwarem HTRI

V kapitole 1.2. je uvedeno zadání vysokoteplotní aplikace 2, v níž je úkolem provést návrh trubkového výměníku tepla se segmentovými přepážkami, dle parametrů zadaných v tab. 1.3, popř. v tab. 7.1.

Je požadováno provést minimalizaci plochy výměny tepla, resp. hmotnosti výměníku, při současném splnění požadavků zadání (výkon, dovolené tlakové ztráty). V rámci výše zmíněné minimalizace je rovněž požadováno nalézt vhodnou variantu zapojení pracovních látek ve výměníku. U varianty 1 jsou spaliny umístěny v mezitrubkovém a PVS v trubkovém prostoru a ve variantě 2 jsou spaliny umístěny v trubkovém a PVS v mezitrubkovém prostoru.

Požadavky, které mají být během návrhu prioritně dodrženy, jsou v tab. 7.1 zvýrazněny žlutě. Jedná se o tlakové ztráty obou pracovních látek a výkon navrhovaného výměníku.

Médium	Veličina	Hodnota	Jednotka
PVS	p_{PVSin}	4,306	bar(abs.)
	T_{PVSin}	98,9	°C
	T_{PVSout}	529,8	°C
	w_{PVS}	11,81	% hm.
	m_{PVS}	1,291	kg·s ⁻¹
	Δp_{PVS}	10 až 14	kPa
Spaliny	T_{spin}	600	°C
	T_{spout}	144	°C
	m_{sp}	1,24	kg·s ⁻¹
	Δp_{sp}	4	kPa
Bilanční výkon	P_{CS-AMH}	653	kW

Tab. 7.1 Rekapitulace zadávacích parametrů nominálního provozního režimu výměníku CS-AMH [2].

7.1. Vstupní data a postup řešení

Návrhový výpočet obou variant výše zmíněného výměníku tepla je obdobně jako kontrolní výpočet v kapitole 6. proveden pomocí softwaru HTRI. Na rozdíl od kontrolního výpočtu je však při návrhovém výpočtu nutno před zadáváním vstupních dat zvolit mód *Design*. Procesní vstupní data pro obě řešené varianty jsou uvedena v tab. 7.1 a vstupní data týkající se geometrie jsou uvedena v tab. 7.2.

Výchozí geometrie		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Vnější průměr potrubí	15,0	mm
Tloušťka stěny	1,5	mm
Maximální délka	10	m
Maximální průměr pláště	1600	mm

Tab. 7.2 Zadané geometrické parametry shodné pro obě varianty výměníku tepla [2].

Samotný výpočet v softwaru HTRI probíhá po jednotlivých krocích v určitých mezích, přičemž jak velikost kroku, tak i meze je potřeba definovat během zadávání vstupních dat. Software pak tučným písmem označí výsledky, které splňují jistý zvolený parametr. V případě vysokoteplotní aplikace 2 je tímto parametrem požadavek na minimální velikost teplosměnné plochy.

Popis hlavních výsledků obou variant je proveden níže a výstupní protokoly jsou uvedeny v příloze P4.

7.2. Hlavní výsledky varianty 1

Po dokončení návrhového výpočtu varianty 1 je softwarem dle velikosti teplosměnné plochy vybrán nejrelevantnější výsledek. Souhrn procesních a geometrických parametrů nalezeného řešení je uveden v tab. 7.3.

Z hodnot uvedených v tab. 7.3 je zřejmé, že tlakové ztráty i tepelný výkon výměníku jsou ve shodě se zadanými hodnotami. Nicméně, pro splnění zadaných tlakových ztrát na straně spalin, které jsou umístěny v mezitrubkovém prostoru, při současném zachování požadovaného tepelného výkonu, by muselo být v procesu současně zapojeno více výměníků tepla. Z hlediska minimalizace teplosměnné plochy, resp. hmotnosti výměníku, není tento způsob řešení vhodný.

Varianta 1 – vypočítané parametry		
Geometrické parametry		
Parametr	Hodnota	
Celková teplosměnná plocha, [m ²]	1395,58	
Vnitřní průměr pláště, [mm]	800,00	
Počet přepážek, [-]	8	
Vzdálenost mezi přepážkami, [mm]	388,083	
Délka trubek, [m]	4,0	
Rozteč trubek, [mm]	18,75	
Provedení výměníku dle TEMA [-]	AES	
Počet jednotek zapojených v sérii	2	
Počet paralelně zapojených jednotek	3	
Procesní parametry		
Parametr/pracovní látka	Spaliny (mezitrubkový prostor)	PVS (trubkový prostor)
Teplota na vstupu, [°C]	600,00	98,90
Teplota na výstupu, [°C]	140,25	529,80
Tlak na vstupu, [kPa]	107,002	430,606
Tlaková ztráta, [kPa]	3,934	1,975
Střední rychlost média, [m/s]	5,06	1,30
Tepelný výkon, [kW]	656,9	

Tab. 7.3 Souhrn vybraných vypočítaných parametrů varianty 1.

7.3. Hlavní výsledky varianty 2

Po dokončení návrhového výpočtu varianty 2 dává software HTRI k dispozici více výsledků splňujících zadané parametry v závislosti na procentuální úrovni předdimenzování (tzv. *overdesign*). Z výsledných variant byly pro diskusi vybrány dva výsledky, jejichž vypočítané parametry jsou uvedeny v tab. 7.4.

Z tabulky je patrné, že oba výsledky splňují požadavky uvedené v tab. 7.1. Nicméně výsledek 1, který byl vybrán pouze s ohledem na minimální plochu výměny tepla, vykazuje pouze minimální předdimenzování, přičemž hodnota předdimenzování je v tomto případě jen 0,32 %. V praxi je však určité předdimenzování výměníku tepla žádoucí. Velikost předdimenzování pak obecně závisí například na stupni zanášení teplosměnných ploch, nebo na přesnosti použitých korelací pro přestup tepla a tlakové ztráty.

Z tohoto důvodu je jako doporučený výsledek pro realizaci vybrán výsledek 2, který vykazuje předdimenzování o 5,34 %, což je dostačující hodnota pro vysokoteplotní aplikaci, u které není potřeba uvažovat se zanášením teplosměnných ploch.

Varianta 2 – vypočítané parametry dvou vybraných výsledků				
Geometrické parametry				
Parametr / (Výsledek předdimenzování, [%])	Výsledek 1 / (0,32)		Výsledek 2 / (5,34)	
Celková teplosměnná plocha, [m ²]	351,921		374,507	
Vnitřní průměr pláště, [mm]	696,000		700,000	
Počet přepážek, [-]	22		22	
Vzdálenost mezi přepážkami, [mm]	324,223		343,110	
Délka trubek, [m]	8,100		8,500	
Rozteč, [mm]	18,750		18,750	
Provedení výměníku dle TEMA, [-]	AES		AES	
Procesní parametry				
Parametr/pracovní látka	PVS (mezitrubkový prostor)	Spaliny (trubkový prostor)	PVS (mezitrubkový prostor)	Spaliny (trubkový prostor)
Teplota na vstupu, [°C]	98,90	600,00	98,90	600,00
Teplota na výstupu, [°C]	529,80	140,43	529,8	140,43
Tlak na vstupu, [kPa]	430,606	107,002	430,606	107,002
Tlaková ztráta, [kPa]	13,912	3,837	13,246	3,926
Střední rychlost média, [m/s]	9,99	21,23	9,78	20,94
Tepelný výkon, [kW]	656,6		656,6	

Tab. 7.4 Souhrn vybraných vypočítaných parametrů dvou vybraných výsledků návrhu varianty 2.

7.4. Shrnutí výsledků vysokoteplotní aplikace 2

Porovnáme-li výsledky obou variant návrhu vysokoteplotního výměníku tepla CS-AMH, kdy je rozhodujícím faktorem pro výběr vhodné varianty minimální velikost plochy výměny tepla, resp. hmotnosti výměníku, je zřejmé, že varianta 2 je jedinou vhodnou variantou, přičemž výsledek 2 (viz tab.7.4) splňuje všechna kritéria daná zadavatelem. Z tohoto důvodu je návrh výměníku tepla označený jako výsledek 2, vybrán jako nejvhodnější řešení pro vysokoteplotní aplikaci 2.

8. Závěr

Diplomová práce je zaměřena na problematiku tepelně-hydraulického návrhového a kontrolního výpočtu konvenčních typů výměníků tepla určených pro vysokoteplotní aplikace, přičemž pro řešení je využit profesionální komerční software HTRI, jenž je ve výukové verzi k dispozici na Ústavu procesního a ekologického inženýrství.

Úvodní, teoretická část diplomové práce, je zaměřena na stručný popis konvenčních konstrukcí výměníků tepla s ohledem na jejich použití pro vysokoteplotní aplikace, popis základních výpočtových vztahů používaných pro výpočty výměníků tepla a na popis softwaru HTRI.

U řešených vysokoteplotních aplikací, kde pracovní látkou jsou spaliny o vysoké teplotě (nad 500 °C), je volba vhodného výměníku tepla složitější než u nízkoteplotních aplikací. Je zřejmé, že vysoká teplota pracovních látek omezuje, nebo zcela vylučuje použití jistých typů výměníků tepla a u typů, které jsou pro vysokoteplotní aplikace vhodné, klade zvýšené nároky na materiál, z něhož jsou tyto výměníky vyrobeny. Použití žáruvzdorného, popř. žáropevného materiálu je oproti klasické uhlíkové oceli drahé a navíc má tento materiál nižší tepelnou vodivost.

Výpočtové vztahy, které jsou v práci uvedeny, tvoří souhrn základních vztahů, používaných nejen při výpočtech výměníků tepla, ale i při řešení problematiky související s tepelnou výměnou.

V závěru teoretické části je představen software HTRI, který je následně použit pro řešení vysokoteplotní aplikace 1 a 2. K softwaru je rovněž zpracován stručný uživatelský manuál, který tvoří přílohu P1.

V praktické části diplomové práce je proveden srovnávací výpočet tlakové ztráty parovzduchové směsi na 180° kolenech pomocí pěti vybraných výpočtových metod, přičemž jednu z metod používá i software HTRI.

Dále je v práci řešena vysokoteplotní aplikace 1 a 2. U vysokoteplotní aplikace 1 je pomocí softwaru HTRI proveden kontrolní výpočet tří předložených alternativ ohříváku parovzduchové směsi, tedy OPVS, a u vysokoteplotní aplikace 2 je, rovněž pomocí softwaru HTRI, proveden návrh dvou variant trubkového výměníku tepla se segmentovými přepážkami.

Na základě práce s HTRI na řešených vysokoteplotních aplikacích lze konstatovat, že software HTRI představuje praktický, uživatelsky přívětivý a komfortní software, který díky přehlednému uživatelskému rozhraní umožňuje intuitivní řešení pracovních úkolů a v kombinaci s dostatečně výkonným hardwarem je i průběh samotného výpočtu velmi rychlý.

9. Citovaná literatura

- [1] STÁREK K., MILČÁK P., *Zadání parametrů výměníku tepla „OPVS“*, Vítkovice Power Engineering a.s., červenec, 2009.
- [2] STÁREK K., KONVIČKA J., *Zadání parametrů spalínového tepelného výměníku „CS-AMH“*, Vítkovice Power Engineering a.s., březen, 2010.
- [3] HAVLŮ, M. *Algoritmus automatického výběru vhodného typu zařízení z databáze výměníků tepla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 77s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Jegla, Ph.D.
- [4] KRBEK J., OCHRANA L., POLESNÝ B., *Průmyslová energetika*, Učební texty vysokých škol, VUT FSI Brno, 1996.
- [5] STEHLÍK P., KOHOUTEK J., *Přenos tepla*, Učební texty vysokých škol, VUT FSI Brno, 1992.
- [6] DVOŘÁK Z., *Sdílení tepla a výměníky*, Učební texty vysokých škol, ČVUT Praha, 1992.
- [7] ŠÍPAL J., *Moderní předávací stanice*, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí Nad Labem, FUTM, 2007.
- [8] JELEMENSKÝ K., ŠESTÁK J., ŽITNÝ R., *Tepelné pochody*, Slovenská Technická Univerzita v Bratislavě, 2000.
- [9] HLAVAČKA V., *Lamelové a deskové výměníky tepla*, Vydala Společnost pro techniku a prostředí, Novotného lávka S, 116 68 Praha 1, 1992.
- [10] STEHLÍK P., *Tepelné pochody*, Soubor přednášek předmětu, ÚPEI VUT FSI Brno, 2009.
- [11] KILKOVSKÝ, B. *Modelování zařízení pro výměnu tepla v procesech termického zpracování*. Disertační práce, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2008. 185 s. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Jegla, Z., Ph.D., 2008.
- [12] KRALOVOPOLSKÁ A.S. [online]. c2010, aktualizováno 12.1.2010, [cit. 5.5.2010]. < www.kralovopolska.cz >.
- [13] KILKOVSKÝ, B., JEGLA, Z., KOHOUTEK, J., STEHLÍK, P., *Koncepce víceúčelového systému pro výpočty zařízení pro výměnu tepla*, Výzkumná zpráva VZ-EU-UPEI-2004/07 pro řešení výzkumného záměru VZ 300004, Brno, 2004.
- [14] HEWITT, G. F., *Process Heat Transfer*, New York : Begall House, Inc., 1994.
- [15] STEHLÍK, P., KOHOUTEK, J., NĚMČANSKÝ, J., *Teplené pochody*, Učební texty vysokých škol, VUT FSI Brno, 1991.

- [16] JEGLA, Z., *Tepelné pochody*, Soubor cvičení předmětu, ÚPEI VUT FSI Brno, 2010.
- [17] <<http://www.directindustry.com/prod/itt-standard/shell-and-tube-heat-exchanger-25340-236585.html>>
- [18] COKER, A. KAYODE: *Ludwig's Applied Process Design for Chemical Petrochemical Plants*, Volume 1 (4th Edition), Elsevier Inc., 2007.
- [19] JEGLA, Z., ODSTRČIL, M., KOHOUTEK, J., KILKOVSKÝ, B., JONÁK, M.: *Výzkum a vývoj flexibilního energetického systému transformujícího primární energii biomasy i alternativních paliv při jejich spalování, popřípadě odpadní teplo z různých tepelných agregátů na elektrickou energii s možností kogenerace s vyšší účinností*. Výzkumná zpráva VZ-UPEI-2009-TI1/073-2, 2009.
- [20] VÁVRA, P. A KOL.: *Strojnické tabulky*, SNTL Praha, 1984.
- [21] DARBY, R.: *Chemical Engineering Fluid Mechanics, second edition*, Marcel Dekker, Inc., 2001.
- [22] BLEVINS, R.D., *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Krieger, Malabar, FL, 2003.
- [23] ODSTRČIL, M., JEGLA, Z., KOHOUTEK, J., KILKOVSKÝ, B.: *Výzkum a vývoj flexibilního energetického systému transformujícího primární energii biomasy i alternativních paliv při jejich spalování, popřípadě odpadní teplo z různých tepelných agregátů na elektrickou energii s možností kogenerace s vyšší účinností*. Výzkumná zpráva VZ-UPEI-2010-TI1/073-1, 2010.

10. Seznam příloh:

1. Příloha P1: Stručný uživatelský manuál k softwaru HTRI.
2. Příloha P2: Číselné výsledky získané při porovnávání různých metod výpočtu tlakové ztráty ve 180° kolenech. [19]
3. Příloha P3: Detailní výsledky kontrolního výpočtu všech tří alternativ návrhu OPVS určených pro vysokoteplotní aplikaci 1.
4. Příloha P4: Detailní výsledky návrhového výpočtu dvou variant výměníku CS-AMH určených pro vysokoteplotní aplikaci 2.

Přílohy

Příloha P1

Stručný uživatelský manuál k softwaru HTRI

Stručný uživatelský manuál k softwaru HTRI

1. Úvod

Tento manuál byl vypracován jako jednoduchý návod pro práci se softwarem HTRI a jeho úkolem je případného nového uživatele softwaru seznámit v několika krocích s principy práce v HTRI.

1.1. Charakteristika softwaru

Software HTRI (dále též HTRI, nebo software) je speciálně navržený a vysoce sofistikovaný nástroj pro analytická řešení tepelných výměníků. Tímto softwarem je možno navrhovat, kontrolovat a jinak početně analyzovat široké spektrum typů výměníků tepla. HTRI během výpočtu používá předdefinovaných výpočtových vztahů, které software pro daný typ úlohy volí dle nejnovějších poznatků z oblasti termomechaniky, mechaniky tekutin a mechaniky těles.

Software samotný se skládá z několika výpočtových modulů a z rozsáhlé databáze fyzikálních vlastností tekutin označovanou VMGThermo™.

Mezi výpočtové moduly patří:

- *modul Xace* umožňuje výpočty vzduchem chlazených tepelných výměníků a ekonomizérů;
- *modul Xfh* pro výpočty pecí;
- *modul Xist* umožňuje výpočty trubkových výměníků se svazkem trubek v plášti;
- *modul Xhpe* umožňuje výpočty výměníků s vlásenkovými trubkami;
- *modul Xjpe* pro výpočty výměníků typu trubka v trubce;
- *modul Xphe* pro výpočty deskových výměníků;
- *modul Xspe* umožňuje výpočty spirálových výměníků tepla.

Dalšími moduly je modul *Xtlo*, nebo *Xvib* pro analýzu vibrací.

Všechny výše zmiňované moduly sjednocuje přehledné uživatelské rozhraní. Součástí softwaru HTRI je také rozsáhlý uživatelský manuál a propracovaný modul nápovědy, který je možno spustit klávesou F1 kdykoli během práce v HTRI.

Po úspěšné instalaci a spuštění softwaru je k dispozici uživatelské rozhraní, které má ve srovnání s podobnými aplikacemi pracujícími v systému MS Windows standardní strukturu a design. Kromě obsahově standardní nabídky, jako je *File*, *Edit*, *View*, jsou zde k dispozici prvky *Tools* a *Help*, které obsahují velmi zajímavé utility. Jsou to *Exchanger selector* pro výběr vhodného výměníku tepla, *Quick calculation tool*, ve kterém se nachází převodník mezi jednotkami a možnost výpočtu vybraných parametrů potrubí, a *Tutorials...*, což je výukový modul práce v HTRI.

2. Práce v softwaru HTRI

V následujícím textu je prostřednictvím několika jednoduchých kroků popsána práce v softwaru HTRI. Jednotlivé kroky jsou zde uvedeny v takovém pořadí, v jakém na sebe budou navazovat i při samotné práci v HTRI. Pro lepší pochopení některých kroků jsou v textu uvedeny také obrázky, které vycházejí přímo z pracovního prostředí softwaru.

2.1. Krok první – Spuštění nové úlohy

Práci samotnou je možno začít pomocí záložky *File*, v níž je na výběr buď otevření existujícího souboru pomocí položky *Open Case...* (popř. *Import Case...*), nebo vytvoření nového souboru položkou *New case* a následný výběr výpočtového modulu (viz výše), který odpovídá typu řešeného výměníku.

Nyní je k dispozici první pracovní okno *Input Summary*, které je spolu s ostatními pracovními okny sjednoceno do stromové struktury v levé části pracovního prostředí. Toto sjednocení spolu se všemi pracovními okny náleží pod záložku *Input*, jenž je jednou ze sedmi záložek nalézajících se ve spodní části pracovního prostředí. Jednotlivá pracovní okna pak slouží pro zadávání vstupních dat potřebných pro výpočet.

Před zadáváním vstupních dat je potřeba zkontrolovat aktuálně používanou soustavu jednotek. Tyto je možno zkontrolovat, popř. změnit, buď přímo v horní liště, nebo pomocí *Edit* → *Data Units...* (popř. pomocí *Modify...* lze vytvářet vlastní soustavy jednotek). Nyní je program připraven pro zadávání vstupních dat.

Úloha, která zde bude dále uvedena jako ukázková, je kontrola výměníku tepla pro vysokoteplotní aplikaci 1, která byla řešena v diplomové práci, v níž vystupuje tento manuál jako příloha.

Pomocí *File* → *New Case* → *Air Cooler (Xace)* jsme spustili novou úlohu, ve které bude řešen výměník tepla s příčně obtékaným svazkem trubek umístěným ve spalinovém kanálu.

2.2. Krok druhý – Zadávání vstupních dat

Jak bylo uvedeno výše je nyní k dispozici první pracovní okno *Input Summary*, které sjednocuje základní vstupní data. Jednotlivá data budou zadávána do bílých textových polí, z nichž ty, které jsou označené červeným rámečkem, musí být vyplněny. Počet a druh takto označených polí se mění v závislosti na zvoleném módu úlohy (*Case Mode* ve vrchní části pracovního okna *Input Summary*) a na postupu jejich vyplňování. V našem případě je zadán mód *Simulation*, který se volí v předě, kdy je známá geometrie výměníku a vstupní, nebo výstupní parametry pracovních látek a ve výsledku jsou získány jejich zbylé parametry (např. tlakové ztráty, výstupní teploty apod.) včetně dalších údajů o průběhu výměny tepla. Textová pole samotná jsou podle druhu vstupních dat, která jsou do nich zadávána, seskupena do jistých skupin.

V následujícím textu je popsáno zadávání jednotlivých vstupních dat do příslušných polí spolu s doplňujícími obrázky, které obsahují konkrétní vstupní data a které jsou čerpány přímo z prostředí softwaru HTRI.

Postupně budou vyplněny následující pole:

Hmotnostní průtoky – *Flow rate* – horkého a chladného média.

Hmotnostní podíly plynné fáze obou médií na vstupu i výstupu – *Inlet/outlet Y* –.

Obě vstupní teploty – *Inlet/outlet T* – a oba dva vstupní tlaky – *Inlet P* –.

Process Conditions							
Flow rate	Hot Outside	2,517	kg/s	Cold Inside	3,175	kg/s	
Inlet/outlet Y	1	/	1	wt. frac. vapor	1	/	1
Inlet/outlet T	1200	/		C	220	/	
Inlet P/Allow dP	101,325	/		kPa / kPa	610,9	/	

Obr. 1 Procesní podmínky.

Typ jednotky – *Unit type* – je volen jako – *Economizer* –, aby bylo možné umístit horký proud (v našem případě spaliny) do mezitrubkového prostoru.

Orientace jednotky – *Orientation* – je – *Horizontal* – horizontální .

Počet paralelních oddílů (podjednotek) – *Number of bays in parallel per unit* – a počet paralelních svazků v jednom oddíle – *Number of bundles in parallel per bay* – je volen 1, neboť se v našem případě jedná o jeden výměník tepla s jedním trubkovým svazkem umístěným do jednoho spalínového kanálu.

Počet chodů ve svazku – *Number of tubepasses per bundle* – je ponechán nevyplněný a bude doplněn později v jiném pracovním okně.

Unit Geometry			
Unit type	Economizer	Number of bays in parallel per unit	1
Orientation	Horizontal	Number of bundles in parallel per bay	1
Apex angle		Number of tubepasses per bundle	16

Obr. 2 Geometrie jednotky.

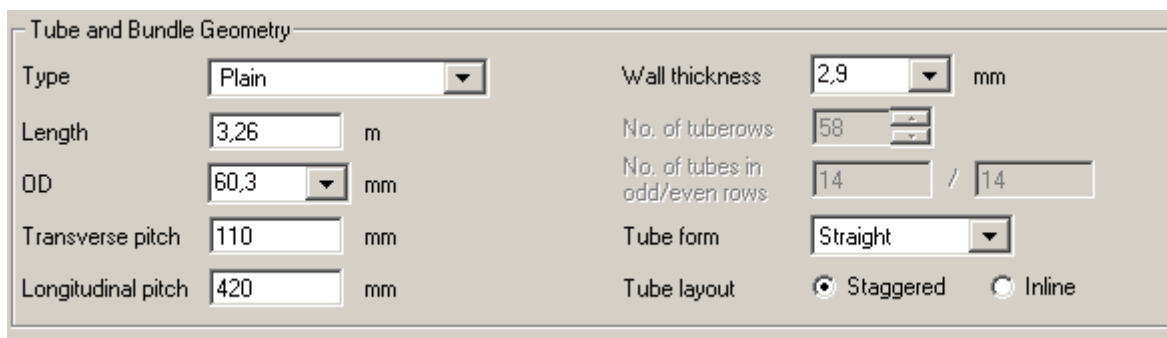
Typ trubek – *Type* – je volen jako *Plain* (hladký).

Délka – *Length* – je 3,26 m. Ve skutečnosti je ohřívaná délka trubek 3 m, avšak software počítá s tím, že přechody mezi jednotlivými chody se uskutečňují mimo spalínový kanál a tudíž bere 0,26 m ze zadané délky jako část trubky, která se již neúčastní výměny tepla, neboť leží ve stěnách spalínového kanálu.

Tvar trubky – *Tube form* – je ponechán *Straight* (přímý).

Uspořádání trubek – *Tube layout* – je – *Staggered* – tj. střídavé uspořádání příčně obtékaného svazku.

Další parametry jako je vnější průměr – *OD (Outside diameter)* –, příčná rozteč – *Transverse pitch* –, podélná rozteč – *Longitudinal pitch* –, tloušťka stěny trubky – *Wall thickness* – apod. budou definovány později v jiném pracovním okně.

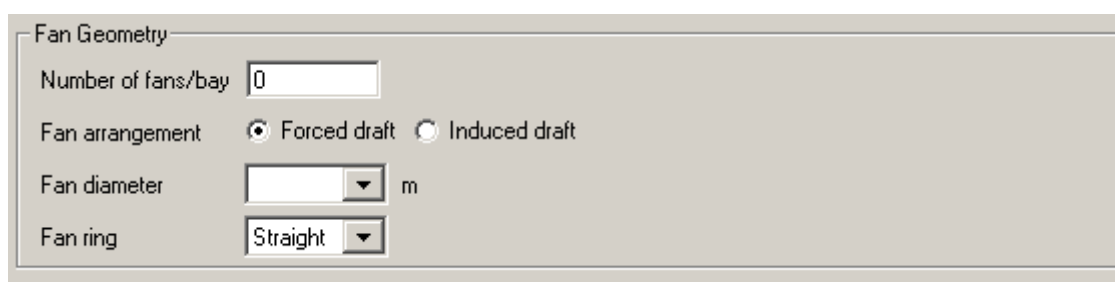


Tube and Bundle Geometry	
Type	Plain
Length	3,26 m
OD	60,3 mm
Transverse pitch	110 mm
Longitudinal pitch	420 mm
Wall thickness	2,9 mm
No. of tuberows	58
No. of tubes in odd/even rows	14 / 14
Tube form	Straight
Tube layout	<input checked="" type="radio"/> Staggered <input type="radio"/> Inline

Obr. 3 Rozměry potrubí.

Nyní přejdeme do dalšího pracovního okna – *Geometry* –. Toto provedeme buď pomocí tlačítka – *Next* – v levém dolním rohu, nebo přímo myší klikneme ve stromové struktuře na položku – *Geometry* –. Zde je většina parametrů již navolena z předchozího pracovního okna a bude zde doplněna pouze část týkající se geometrie ventilátoru – *Fan Geometry* –.

V části – *Fan Geometry* – je počet ventilátorů na oddíl – *Number of fans/bay* – roven 0, neboť v řešeném zařízení není umístěn žádný ventilátor.



Fan Geometry	
Number of fans/bay	0
Fan arrangement	<input checked="" type="radio"/> Forced draft <input type="radio"/> Induced draft
Fan diameter	m
Fan ring	Straight

Obr. 4 Geometrie ventilátoru.

Dalším pracovním oknem je – *Unit* –. Zde je důležité zvolit umístění teplého média – *Hot fluid location* – do mezitrubkového prostoru – *Outside tube* –.

Dále zkontrolujeme zda je počet zařízení – *Number of services* – roven jedné a v poli – *Schedule* – zvolíme možnost *STD*.

Bay Description

Unit type:

Tube orientation:

Hot fluid location: Inside tube Outside tube

Flow type: Cocurrent Countercurrent

Number of bays in parallel per unit:

Number of bundles in parallel per bay: Number of services:

Number of tube passes per bundle:

Obr. 5 Popis oddílu (jednotky).

V pracovním okně – *Fans (Ventilátory)* – pouze zkontrolujeme zda je nastavený jejich nulový počet.

Nyní přejdeme až do pracovního okna - *Tube Types (typy potrubí)*. Zde bude provedena definice jednotlivých sekcí, ze kterých se skládá trubkový svazek. Základní definice spočívá v přidání známého počtu typů trubek (jedna položka – *Tube Types* – odpovídá jedné sekci) pomocí tlačítka *Add (přidat)* a popř. v jejich pojmenování. Takto předdefinované sekce dále editujeme v samostatných oknech defaultně označených jako *TubeType1, TubeType2* atd.

Teoreticky lze takto vytvořit neomezené množství sekcí. Pro vysokoteplotní aplikaci 1 bylo vytvořeno pět sekcí pojmenovaných *Sekce 1* až *Sekce 5*, přičemž jako příklad bude dále uveden postup editace páté sekce.

Tube Types

	Tube Name	Tube Type	Tube Internal
1	Sekce 1	Plain	None
2	Sekce 2	Plain	None
3	Sekce 3	Plain	None
4	Sekce 4	Plain	None
5	Sekce 5	Plain	None
6			
7			
8			
9			

Add

Delete

Obr. 6 Typy potrubí (definování sekcí).

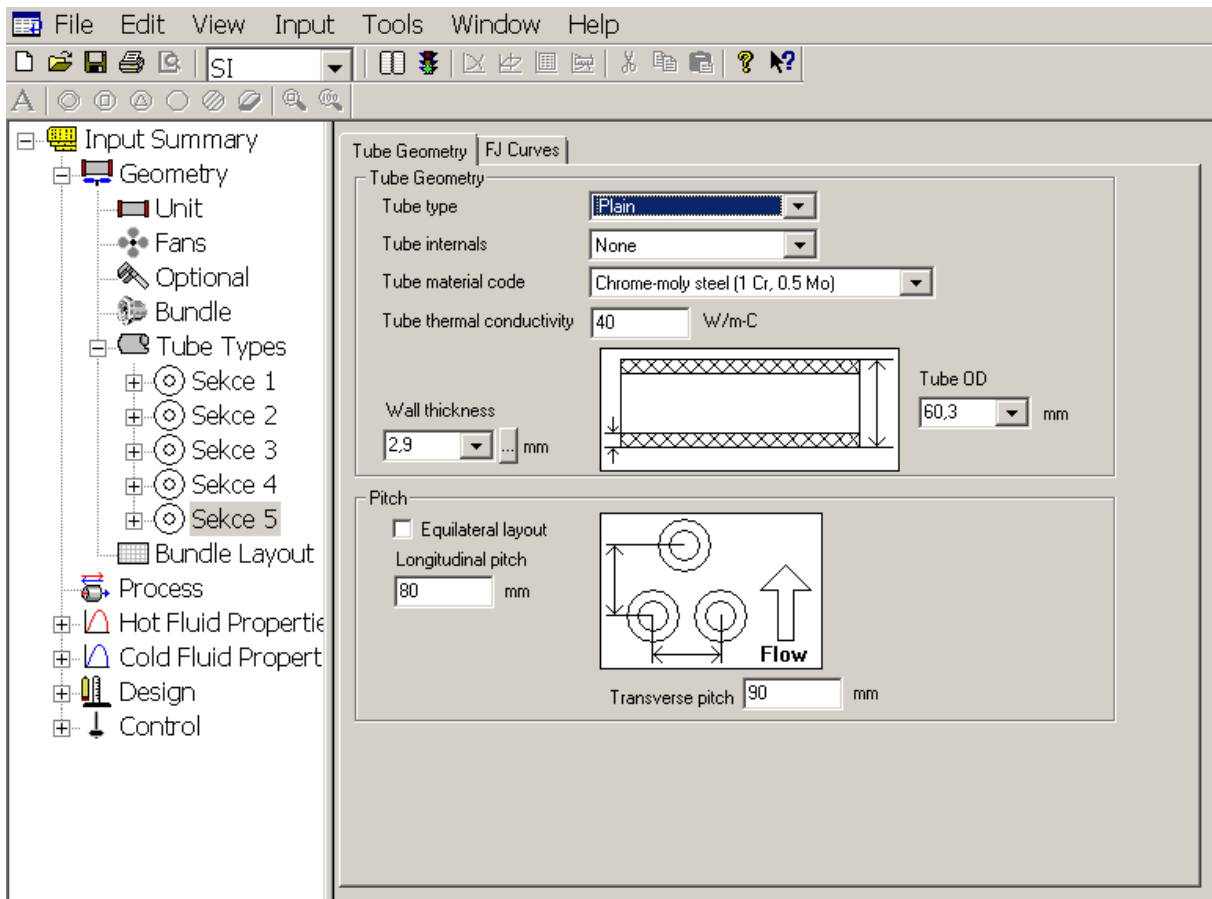
Po rozkliknutí *Sekce 5* ve stromové struktuře bude pracovní okno doplněno následujícími údaji, jejichž číselné hodnoty jsou uvedeny na obr. 7.

Typ potrubí – *Tube type* – je ponechán hladký – *Plain*.

Těliska (turbulizátory) vložené do trubek – *Tube internals* – nejsou žádné – *None*.

Materiál trubek – *Tube material code* – není v databázi – *Not in data bank*.

Dále je zadána tepelná vodivost – *Tube thermal conductivity* –, vnější průměr – *OD (Outside diameter)* –, tloušťka stěny trubky – *Wall thickness* –, příčná rozteč – *Transverse pitch* – a podélná rozteč – *Longitudinal pitch* –.



Obr. 7 Pracovní okno pro zadávání parametrů Sekce 5.

Přejdeme do pracovního okna – *Bundle Layout* –, které umožňuje automatické, popř. manuální vytváření konfigurace svazku trubek. Z hodnot, jež byly doposud zadány, program vygeneroval určitou konfiguraci trubkového svazku ve vrchní části pracovního okna. Tato konfigurace však neodpovídá té naší.

Stiskem klávesy *Page Down* si přiblížíme schéma trubkového svazku, které je zobrazeno nad tabulkou s údaji o jednotlivých sekcích, chodech, řadách apod. Nyní manuálně nadefinujeme konfiguraci páté sekce.

Myší označíme prvních 24 trubkových řad. Pravým tlačítkem myši klikneme na jednu z označených trubek a z nabídky vybereme možnost – *Tube Properties* –.

Zde vybereme v okně – *Tube type* – možnost *Sekce 5*.

Odsazení od stěny spalínového kanálu – *Set wall clearance* – zvolíme 14,85 mm (viz schéma alternativy 1).

Počet trubek v řadě – *Set number of tubes* – zvolíme 15.

Pátá sekce je nyní předdefinována. Dále víme, že pátá sekce se skládá ze šesti chodů po čtyřech řadách.

Označíme tedy myši první čtyři trubkové řady tvořící první chod a v okně – *Tube Properties* – zvolíme číslo chodu – *Tube pass number* – 1.

Stejným postupem nadefinujeme zbývajících pět chodů, přičemž je postupně označíme čísly 2 – 6.

Posledním krokem definování páté sekce je nastavení správného odsazení sudých řad. Označíme tedy první sudou řadu a pak přidržením klávesy *Shift* označíme zbývající sudé řady v sekci. Otevřeme okno – *Tube Properties* – a odsazení od stěny spalínového kanálu – *Set wall clearance* – zvolíme 59,85 mm.

Konfigurace páté sekce je nyní dokončena. Zbývajících čtyři sekce nadefinujeme obdobným způsobem. Pro kontrolu správnosti konfigurace trubkového svazku lze použít tabulku zobrazenou pod svazkem samotným.

User defined tube pass layout

Number of tuberos / tube passes: /

Number of tubes in each odd/even numbered row: /

Clearance, wall to first tube: mm

Name	Type	Outer Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Transverse Pitch (mm)	Longitudinal Pitch (mm)	Pitch Ratio
36.tube.1	Fluo	60,0000	2,0000	110,0000	420,0000	1/4
36.tube.2	Fluo	60,0000	2,0000	90,0000	30,0000	1/4
36.tube.3	Fluo	60,0000	2,0000	90,0000	30,0000	1/4
36.tube.4	Fluo	60,0000	2,0000	90,0000	30,0000	1/4
36.tube.5	Fluo	60,0000	2,0000	90,0000	30,0000	1/4

Row	Number of tubes	Tube type	Wall Clearance (mm)	Row	Number of tubes	Tube type	Wall Clearance (mm)
1	15	36.tube.1	14,8100	20	15	36.tube.4	59,8100
2	15	36.tube.3	14,8100	21	15	36.tube.4	14,8100
3	15	36.tube.3	14,8100	22	15	36.tube.4	59,8100
4	15	36.tube.3	59,8100	23	15	36.tube.4	14,8100
5	15	36.tube.3	14,8100	24	15	36.tube.4	59,8100
6	15	36.tube.3	59,8100	25	15	36.tube.4	14,8100
7	15	36.tube.3	14,8100	26	15	36.tube.4	59,8100
8	15	36.tube.3	59,8100	27	15	36.tube.4	14,8100
9	15	36.tube.3	14,8100	28	15	36.tube.4	59,8100
10	15	36.tube.3	59,8100	29	15	36.tube.4	14,8100
11	15	36.tube.3	14,8100	40	15	36.tube.4	59,8100
12	15	36.tube.3	59,8100	41	15	36.tube.4	14,8100
13	15	36.tube.3	14,8100	42	15	36.tube.4	59,8100
14	15	36.tube.3	59,8100	43	15	36.tube.4	14,8100
15	15	36.tube.3	14,8100	44	15	36.tube.4	59,8100
16	15	36.tube.3	59,8100	45	15	36.tube.4	14,8100
17	15	36.tube.3	14,8100	46	15	36.tube.4	59,8100
18	15	36.tube.3	59,8100	47	15	36.tube.4	14,8100
19	15	36.tube.3	14,8100	48	15	36.tube.4	59,8100
20	15	36.tube.3	59,8100	49	15	36.tube.4	14,8100
21	15	36.tube.3	14,8100	50	15	36.tube.4	59,8100
22	15	36.tube.3	59,8100	51	15	36.tube.4	14,8100
23	15	36.tube.3	14,8100	52	15	36.tube.4	59,8100
24	15	36.tube.3	59,8100	53	15	36.tube.4	14,8100
25	15	36.tube.3	14,8100	54	15	36.tube.4	59,8100
26	15	36.tube.4	59,8100	55	15	36.tube.2	14,8100
27	15	36.tube.4	14,8100	56	15	36.tube.2	59,8100
28	15	36.tube.4	59,8100	57	12	36.tube.1	62,2100
29	15	36.tube.4	14,8100	58	12	36.tube.1	62,2100

Bundle Information

Bundle width: 1,293 m

Number of tube rows: 10

Number of tubes: 264

Minimum wall clearance: 14,8100 mm

Maximum wall clearance: 59,8100 mm

Number of tube passes: 16

- Tube pass # 1: 40
- Tube pass # 2: 40
- Tube pass # 3: 40
- Tube pass # 4: 40
- Tube pass # 5: 40
- Tube pass # 6: 40
- Tube pass # 7: 40
- Tube pass # 8: 40
- Tube pass # 9: 40
- Tube pass #10: 40
- Tube pass #11: 40
- Tube pass #12: 40
- Tube pass #13: 40
- Tube pass #14: 40
- Tube pass #15: 12
- Tube pass #16: 12

Obr. 8 Pracovní okno – *Bundle Layout* – s přibližným trubkového svazku.

V pracovním okně – *Process* – můžeme zkontrolovat, popř. změnit parametry pracovních látek a k jednotlivým pracovním látkám lze uvést jejich název.

Nyní přejdeme k definici vlastností jednotlivých pracovních látek. Ty se provedou v pracovních oknech – *Hot Fluid Properties* – a – *Cold Fluid Properties*, přičemž v obou oknech zvolíme možnost definice přesného složení pracovních látek – *Component by component* – a – *Program calculated*.

V pracovním okně – *Components* – nadefinujeme složení pracovních látek. Pro horké médium (spaliny) je složení uváděno v objemových procentech, tudíž zvolíme možnost – *Moles* – a pro chladné médium (PVS) je složení uváděno v hmotnostních procentech, tudíž zvolíme možnost – *Mass*. Přesná procentuální složení jsou patrná z obr. 9 a 10.

Databank Name	Info	User Name	Phase	Quantity	Fraction
1 Argon	...	Argon	Mixed	0,86	0,0086
2 Carbon Dioxide	...	Carbon Dioxide	Mixed	5,14	0,0514
3 Nitrogen	...	Nitrogen	Mixed	73,38	0,7338
4 Oxygen	...	Oxygen	Mixed	9,67	0,0967
5 Water (IAPWS 1997)	...	Water (IAPWS 1997)	Mixed	10,95	0,1095
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					

User Name	Phase	Quantity	Fraction
Argon	Mixed	0,86	0,0086
Carbon Dioxide	Mixed	5,14	0,0514
Nitrogen	Mixed	73,38	0,7338
Oxygen	Mixed	9,67	0,0967
Water (IAPWS 1997)	Mixed	10,95	0,1095

Databank Name	Info	User Name	Phase	Quantity	Fraction
1 Air	...	Air	Vapor	74,64	0,7464
2 Water (IAPWS 1997)	...	Water (IAPWS 1997)	Mixed	25,36	0,2536
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					

User Name	Phase	Quantity	Fraction
Air	Vapor	74,64	0,7464
Water (IAPWS 1997)	Mixed	25,36	0,2536

Obr. 9 a 10. Složení horké pracovní látky (spaliny) a chladné pracovní látky (PVS).

Zadávání potřebných vstupních dat je nyní dokončeno a lze tedy spustit samotný výpočet. Toto se provede pomocí ikonky *Run case* (obrázek semaforu).

2.3. Krok třetí – Výsledky a výstupní protokoly

Po dokončení výpočtu jsou dle módu výpočtu, který byl zvolen během zadávání vstupních dat (v našem případě *Simulation*), k dispozici další ze sedmi záložek, přičemž záložky *Reports*, *Graphs*, *Drawings*, *Multiple Services* a *Session* jsou k dispozici pro všechny módy výpočtu a záložka *Design* je využita při módu *Design*.

2.3.1. Typy výstupních protokolů

Záložka – *Reports* – sjednocuje veškerá výstupní data do několika typů výstupních protokolů. Jednotlivé protokoly a popis jejich obsahu je uveden níže.

Output Summary – shrnutí hlavních vstupních i výsledných dat.

Data Check Messages a *Runtime Messages* – oznamovací protokoly pro určité nesrovnalosti (popř. chyby) zjištěné softwarem ve vstupních datech, resp. během výpočtu.

Final Results – podrobný soupis hlavních vstupních a výstupních dat, včetně zadané geometrie výměníku, střední teploty trubek v jednotlivých řadách a vybraných parametrů, které byly během výpočtu použity (tlakové ztráty apod.).

Tubeside Monitor – procesní parametry média proudícího v trubkovém prostoru uvedené pro každou trubku zvlášť.

Outside Monitor – procesní parametry média proudícího v mezitrubkovém prostoru v okolí jednotlivých trubek, obdoba protokolu *Tubeside Monitor*.

Temperature Monitor – teploty, tlaky a hmotnostní podíly plynné složky obou pracovních látek uvedené pro jednotlivé trubky a jejich okolí.

Pressure Drop Monitor – teplota, hmotnostní podíl plynné složky, hmotnostní průtok a tlaková ztráta média proudícího v trubkovém prostoru uvedená po jednotlivých řadách trubek.

Property Monitor – jednotlivé teploty, hmotnostní podíly plynné složky a předané teplo pracovní látkou v mezitrubkovém prostoru uvedené pro každou trubku zvlášť.

Stream Properties – shrnutí vlastností a složení obou pracovních látek.

Input Reprint – shrnutí všech vstupních dat.

2.3.2. Grafy

V této záložce jsou výstupní data znázorněna ve formě grafů. Je zde možno nechat vykreslit grafické závislosti na vstupních datech – *Based on Input Data* –, popř. na výstupních datech – *Based on Output Data* –. Jednotlivé typy grafů jsou popsány níže.

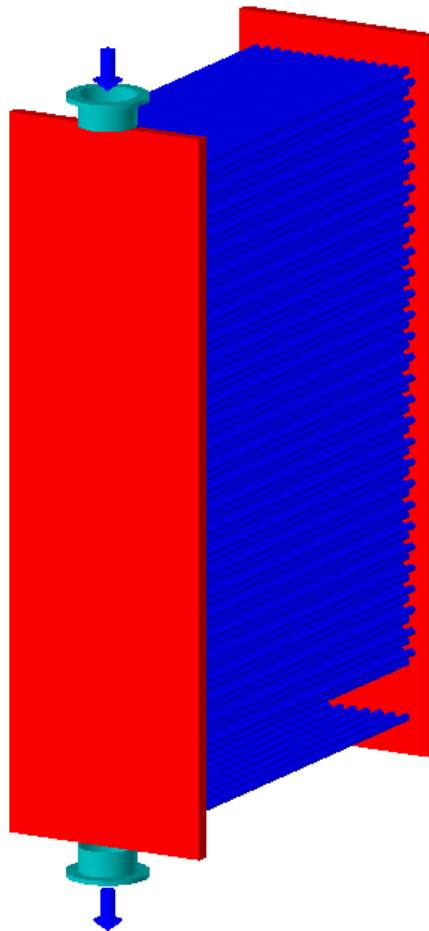
Stream Properties – vykreslení závislosti entalpie, tlaku, hustoty atd. jednotlivých pracovních látek na teplotě.

Output Profiles – vykreslení závislosti mnoha různých parametrů na určitých místech ve zvoleném chodu výměníku tepla.

Output 3D Profiles – zobrazení závislosti různých parametrů vybraného média na jeho pozici ve výměníku tepla.

2.3.3. Vykreslení výměníku – Drawings –

V záložce – *Drawings* – si lze krom uspořádání trubek v trubkového svazku – *Bundle Layout* – také prohlédnout schematické zobrazení výměníku, jenž je k dispozici ve dvourozměrné – *2D Exchanger Drawing* –, popř. trojrozměrné – *3D Exchanger Drawing* – podobě, která je zobrazena na obr. 11.

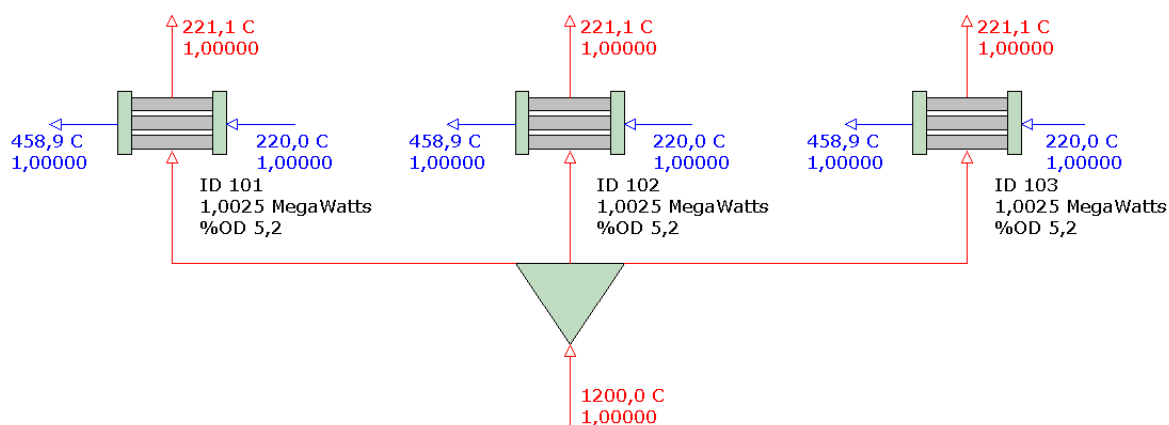


Obr. 11 Trojrozměrné schematické znázornění řešeného trubkového svazku.

2.3.4. Multiple Services

V našem případě, kdy se jedná o jedno zařízení je v záložce – *Multiple Services* – schematicky zobrazen jeden výměník spolu s některými parametry pracovních látek. Jsou to vstupní a výstupní teploty, koncentrace plynných fází obou pracovních látek a výkon.

Je-li však během zadávání vstupních dat zvolen větší počet zařízení, toto se provede v položce – *Number of services* –, budou tyto zařízení v záložce – *Multiple Services* – schematicky znázorněny včetně jejich vzájemného zapojení. Dále zde budou uvedeny i výše zmíněné parametry pracovních látek. Bude-li například pro případ vysokoteplotní aplikace 1 změněna položka – *Number of services* – z hodnoty jedna na hodnotu tři, bude schematické znázornění zapojení zvolených zařízení vypadat následovně:



Obr. 12 Schematické znázornění paralelního zapojení třech zvolených zařízení.

2.3.5. Návrh – Design –

Je-li jako mód výpočtu zvolen Návrh – *Design* – budou v této záložce během výpočtu postupně zobrazována jednotlivá data, která software vypočítá.

V modulu *Xace*, ve kterém je řešena vysokoteplotní aplikace 1, se však doslovný název módu – *Design* – ve výběru jednotlivých módů nenachází, nýbrž je možno vybrat z módů – *Classic Design* –, nebo – *Grid Design* –.

Mód – *Classic Design* – vyžaduje méně vstupních dat, avšak uživatel má menší kontrolu nad počítanými parametry.

Mód – *Grid Design* – umožňuje dosáhnout přesnějšího výpočtu, nicméně je zde nutné definovat větší množství vstupních parametrů.

2.3.6. Session

V této záložce jsou zobrazeny souhrnné výsledky vybraných výpočtů, přičemž výběr je možno provést v položce – *Program Settings* – nalézající se v nabídce – *Edit* –.

3. Závěr

Účelem tohoto uživatelského manuálu je seznámení prostřednictvím konkrétní úlohy se základy práce v softwaru HTRI. Přestože jsou zde uvedeny pouze základní instrukce a manuál jako takový zdaleka neobsahuje popis veškerých možných funkcí softwaru, je po osvojení si základních principů práce se softwarem již poměrně snadné dále rozšiřovat své schopnosti v jeho používání.

Nutno připomenout, že kdykoli během práce se softwarem lze stiskem klávesy *F1* spustit modul přehledné *Nápovědy*, přičemž je v tomto modulu pro danou položku, na níž se právě nachází kurzor, zobrazen popis položky a možnosti jejího vyplnění.

Příloha P2

Číselné výsledky získané při porovnávání různých metod výpočtu tlakové ztráty ve 180° kolenech

Tlaková ztráta vypočtená pomocí ekvivalentní délky:

Teplota 350°C						
průměr d_i [mm]	DN50 52.5	DN80 77.9	DN100 102.3	DN150 154.1	DN200 202.7	
rychlost c [m/s]						
Ostrá kolena						
10.000	338.661	302.407	280.732	252.226	235.505	
15.000	745.397	665.965	618.439	555.890	519.175	
20.000	1309.388	1170.174	1086.846	977.135	912.716	
25.000	2030.476	1814.893	1685.820	1515.841	1416.014	
30.000	2908.572	2600.042	2415.288	2171.943	2029.008	
35.000	3943.617	3525.568	3275.200	2945.395	2751.655	
40.000	5135.570	4591.435	4265.523	3836.168	3583.927	
Mírná kolena						
10.000	225.774	201.605	187.155	168.151	157.004	
15.000	496.931	443.977	412.293	370.593	346.117	
20.000	872.925	780.116	724.564	651.423	608.477	
25.000	1353.651	1209.929	1123.880	1010.561	944.009	
30.000	1939.048	1733.361	1610.192	1447.962	1352.672	
35.000	2629.078	2350.379	2183.467	1963.597	1834.436	
40.000	3423.713	3060.957	2843.682	2557.446	2389.285	

Teplota 800°C						
průměr d_i [mm]	DN50 52.5	DN80 77.9	DN100 102.3	DN150 154.1	DN200 202.7	
rychlost c [m/s]						
Ostrá kolena						
10.000	212.538	189.288	175.435	157.273	146.650	
15.000	458.209	408.653	379.075	340.232	317.480	
20.000	795.074	709.590	658.520	591.397	552.048	
25.000	1222.844	1091.838	1013.526	910.543	850.142	
30.000	1741.361	1555.253	1443.958	1297.546	1211.645	
35.000	2350.524	2099.744	1949.730	1752.329	1636.483	
40.000	3050.265	2725.250	2530.784	2274.838	2124.606	
Mírná kolena						
10.000	141.692	126.192	116.957	104.848	97.767	
15.000	305.473	272.435	252.716	226.821	211.653	
20.000	530.049	473.060	439.014	394.265	368.032	
25.000	815.229	727.892	675.684	607.029	566.761	
30.000	1160.907	1036.835	962.639	865.031	807.763	
35.000	1567.016	1399.830	1299.820	1168.219	1090.988	
40.000	2033.510	1816.833	1687.189	1516.559	1416.404	

Tlaková ztráta vypočtená pomocí součinitele místního odporu:

Teplota 350°C						
průměr d_i [mm]	DN50 52.5	DN80 77.9	DN100 102.3	DN150 154.1	DN200 202.7	
rychlost c [m/s]						
Ostrá kolena						
10.000	108.574	108.225	107.250	107.727	107.077	
15.000	244.292	243.505	241.312	242.387	240.922	
20.000	434.297	432.898	428.999	430.910	428.306	
25.000	678.589	676.404	670.311	673.296	669.229	
30.000	977.167	974.021	965.247	969.547	963.689	
35.000	1330.034	1325.751	1313.809	1319.661	1311.688	
40.000	1737.187	1731.593	1715.995	1723.639	1713.226	
Mírná kolena						
10.000	87.235	86.710	85.679	85.678	84.880	
15.000	196.278	195.098	192.779	192.776	190.979	
20.000	348.939	346.841	342.718	342.713	339.518	
25.000	545.217	541.940	535.497	535.489	530.497	
30.000	785.113	780.393	771.115	771.105	763.916	
35.000	1068.626	1062.202	1049.573	1049.559	1039.775	
40.000	1395.756	1387.366	1370.871	1370.853	1358.074	

Teplota 800°C						
průměr d_i [mm]	DN50 52.5	DN80 77.9	DN100 102.3	DN150 154.1	DN200 202.7	
rychlost c [m/s]						
Ostrá kolena						
10.000	62.510	62.309	61.748	62.023	61.648	
15.000	140.648	140.195	138.932	139.551	138.708	
20.000	250.041	249.236	246.991	248.091	246.592	
25.000	390.689	389.431	385.923	387.642	385.300	
30.000	562.592	560.780	555.729	558.204	554.832	
35.000	765.750	763.284	756.409	759.778	755.188	
40.000	1000.163	996.943	987.962	992.363	986.368	
Mírná kolena						
10.000	50.224	49.922	49.329	49.328	48.868	
15.000	113.005	112.325	110.990	110.988	109.954	
20.000	200.897	199.690	197.315	197.313	195.473	
25.000	313.902	312.015	308.305	308.301	305.427	
30.000	452.019	449.301	443.960	443.954	439.815	
35.000	615.248	611.549	604.279	604.270	598.637	
40.000	803.589	798.758	789.262	789.251	781.894	

Tlaková ztráta vypočtená metodou 2-K:

Teplota 350°C						
průměr d _i [mm]	DN50 52.5	DN80 77.9	DN100 102.3	DN150 154.1	DN200 202.7	
rychlost c [m/s]						
Ostrá kolena						
10.000	80.161	71.049	66.568	61.743	59.458	
15.000	178.351	158.506	148.744	138.237	133.258	
20.000	315.282	280.584	263.517	245.146	236.441	
25.000	490.952	437.283	410.884	382.470	369.005	
30.000	705.362	628.603	590.847	550.208	530.950	
35.000	958.511	854.544	803.406	748.361	722.277	
40.000	1250.401	1115.107	1048.559	976.929	942.986	
Mírná kolena						
10.000	69.093	61.158	57.255	53.054	51.063	
15.000	153.447	136.249	127.790	118.685	114.370	
20.000	271.008	241.017	226.265	210.386	202.862	
25.000	421.773	375.459	352.678	328.157	316.538	
30.000	605.745	539.577	507.031	471.998	455.398	
35.000	822.922	733.370	689.322	641.909	619.442	
40.000	1073.305	956.838	899.552	837.890	808.670	

Teplota 800°C						
průměr d _i [mm]	DN50 52.5	DN80 77.9	DN100 102.3	DN150 154.1	DN200 202.7	
rychlost c [m/s]						
Ostrá kolena						
10.000	48.681	42.611	39.624	36.410	34.887	
15.000	106.478	93.815	87.586	80.882	77.705	
20.000	186.579	164.952	154.314	142.864	137.438	
25.000	288.984	256.022	239.809	222.358	214.088	
30.000	413.692	367.024	344.070	319.362	307.654	
35.000	560.705	497.960	467.097	433.877	418.135	
40.000	730.021	648.828	608.891	565.903	545.533	
Mírná kolena						
10.000	42.309	36.916	34.263	31.407	30.054	
15.000	92.140	81.001	75.522	69.625	66.830	
20.000	161.089	142.172	132.867	122.852	118.106	
25.000	249.155	220.428	206.298	191.088	183.881	
30.000	356.339	315.769	295.813	274.334	264.155	
35.000	482.641	428.195	401.415	372.589	358.929	
40.000	628.060	557.707	523.102	485.853	468.203	

Tlaková ztráta vypočtená metodou 3-K:

Teplota 350°C						
průměr d_i [mm]	DN50 52.5	DN80 77.9	DN100 102.3	DN150 154.1	DN200 202.7	
rychlost c [m/s]						
Ostrá kolena						
10.000	78.181	70.875	66.438	60.520	57.004	
15.000	173.896	158.114	148.453	135.484	127.738	
20.000	307.360	279.886	262.999	240.250	226.626	
25.000	478.575	436.193	410.075	374.820	353.670	
30.000	687.539	627.034	589.682	539.193	508.867	
35.000	934.252	852.409	801.819	733.368	692.220	
40.000	1218.715	1112.318	1046.487	957.346	903.727	
Mírná kolena						
10.000	65.598	59.364	55.595	50.585	47.619	
15.000	145.583	132.213	124.055	113.131	106.622	
20.000	257.027	233.841	219.625	200.513	189.087	
25.000	399.929	364.247	342.303	312.731	295.014	
30.000	574.289	523.432	492.090	449.784	424.403	
35.000	780.108	711.395	668.986	611.673	577.255	
40.000	1017.384	928.136	872.991	798.398	753.569	

Teplota 800°C						
průměr d_i [mm]	DN50 52.5	DN80 77.9	DN100 102.3	DN150 154.1	DN200 202.7	
rychlost c [m/s]						
Ostrá kolena						
10.000	47.541	42.510	39.550	35.706	33.475	
15.000	103.913	93.589	87.419	79.296	74.526	
20.000	182.018	164.551	154.016	140.046	131.788	
25.000	281.858	255.395	239.343	217.954	205.259	
30.000	403.431	366.121	343.399	313.020	294.940	
35.000	546.738	496.730	466.184	425.245	400.830	
40.000	711.779	647.222	607.698	554.629	522.930	
Mírná kolena						
10.000	40.297	35.883	33.307	29.986	28.071	
15.000	87.612	78.677	73.372	66.427	62.369	
20.000	153.040	138.041	129.044	117.167	110.175	
25.000	236.579	213.973	200.324	182.206	171.489	
30.000	338.229	306.474	287.212	261.544	246.311	
35.000	457.991	415.543	389.707	355.181	334.641	
40.000	595.865	541.182	507.809	463.116	436.479	

Tlaková ztráta vypočtená metodou Blevinse, která je použita v softwaru HTRI:

Teplota 350°C					
průměr d _i [mm]	DN50 52.5	DN80 77.9	DN100 102.3	DN150 154.1	DN200 202.7
rychlost c [m/s]					
Ostrá kolena					
10.000	72.534	65.129	55.005	54.586	48.207
15.000	152.331	136.780	115.517	114.638	101.241
20.000	257.886	231.559	195.562	194.074	171.393
25.000	387.947	348.342	294.191	291.952	257.833
30.000	541.595	486.304	410.706	407.581	359.948
35.000	718.103	644.793	544.557	540.414	477.257
40.000	916.879	823.277	695.294	690.004	609.366
Mírná kolena					
10.000	51.879	48.296	45.708	42.631	40.407
15.000	108.953	101.427	95.992	89.531	84.860
20.000	184.449	171.709	162.507	151.569	143.661
25.000	277.474	258.308	244.466	228.012	216.115
30.000	387.368	360.611	341.287	318.316	301.708
35.000	513.613	478.137	452.515	422.057	400.037
40.000	655.785	610.488	577.774	538.885	510.770

Teplota 800°C					
průměr d _i [mm]	DN50 52.5	DN80 77.9	DN100 102.3	DN150 154.1	DN200 202.7
rychlost c [m/s]					
Ostrá kolena					
10.000	49.250	44.222	37.347	37.063	32.732
15.000	103.431	92.872	78.434	77.837	68.741
20.000	175.100	157.225	132.783	131.773	116.373
25.000	263.410	236.519	199.751	198.231	175.064
30.000	367.734	330.193	278.863	276.741	244.399
35.000	487.581	437.804	369.745	366.932	324.050
40.000	622.547	558.992	472.094	468.502	413.750
Mírná kolena					
10.000	35.225	32.792	31.035	28.946	27.436
15.000	73.977	68.867	65.177	60.790	57.619
20.000	125.238	116.587	110.340	102.913	97.544
25.000	188.400	175.387	165.989	154.816	146.739
30.000	263.017	244.849	231.729	216.132	204.855
35.000	348.735	324.647	307.250	286.570	271.619
40.000	445.268	414.512	392.299	365.895	346.805

Příloha P3

**Detailní výsledky kontrolního výpočtu všech tří alternativ návrhu OPVS
určených pro vysokoteplotní aplikaci 1**

Výsledky alternativy 1

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

 Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak
 Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

[See Data Check Messages Report for Warning Messages.](#)
[See Runtime Message Report for Warning Messages.](#)

Process Conditions		Outside		Tubeside		
Fluid name	SPALINY			PVS		
Fluid condition			Sens. Gas		Sens. Gas	
Total flow rate	(kg/s)		2,517		3,175	
Weight fraction vapor, In/Out		1,000	1,000	1,000	1,000	
Temperature, In/Out	(Deg C)	1200,00	296,05	220,30	862,51	
Skin temperature, Min/Max	(Deg C)	246,33	922,30	246,18	920,02	
Pressure, Inlet/Outlet	(kPa)	101,326	101,212	610,909	581,551	
Pressure drop, Total/Allow	(kPa) (kPa)	0,114	0,000	29,358	0,000	
Midpoint velocity	(m/s)		4,54		8,39	
- In/Out	(m/s)			6,05	73,36	
Heat transfer safety factor	(--)		1		1	
Fouling	(m2-K/W)		0,000000		0,000000	
Exchanger Performance						
Outside film coef	(W/m2-K)	49,54	Actual U	(W/m2-K)	31,614	
Tubeside film coef	(W/m2-K)	97,44	Required U	(W/m2-K)	31,744	
Clean coef	(W/m2-K)	31,614	Area	(m2)	490,958	
Hot regime	Sens. Gas		Overdesign	(%)	-0,41	
Cold regime	Sens. Gas		Tube Geometry			
EMTD	(Deg C)	179,4	Tube type	Plain		
Duty	(MegaWatts)	2,796	Tube OD	(mm)	60,300	
Unit Geometry			Tube ID	(mm)	54,500	
Bays in parallel per unit		1	Length	(m)	3,260	
Bundles parallel per bay		1	Area ratio(out/in)	(--)	1,10642	
Extended area	(m2)	490,958	Layout	Staggered		
Bare area	(m2)	490,958	Trans pitch	(mm)	90,000	
Bundle width	(m)	1,395	Long pitch	(mm)	80,000	
Nozzle		Inlet	Outlet	Number of passes	(--)	16
Number	(--)	1	1	Number of rows	(--)	58
Diameter	(mm)	444,50	444,50	Tubecount	(--)	864
Velocity	(m/s)	5,45	13,23	Tubecount Odd/Even	(--)	14 / 14
R-V-SQ	(kg/m-s2)	111,57	270,78	Tube material	Not in data bank	
Pressure drop	(kPa)	0,061	0,095	Fin Geometry		
Fan Geometry			Type	None		
No/bay	(--)		0	Fins/length	fin/meter	
Fan ring type				Fin root	mm	
Diameter	(m)		0,000	Height	mm	
Ratio, Fan/bundle face area	(--)			Base thickness	mm	
Driver power	(kW)		0,00	Over fin	mm	
Tip clearance	(mm)		0,000	Efficiency	(%)	
Efficiency	(%)		0	Area ratio (fin/bare)	(--)	
Airsides Velocities			Actual	Standard	Material	
Face	(m/s)		2,37		Thermal Resistance; %	
Maximum	(m/s)		6,03		Air	63,80
Flow	(100 m3/min)		6,471		Tube	35,91
Velocity pressure	(Pa)		0,00		Fouling	0,00
Bundle pressure drop	(Pa)		114,35		Metal	0,29
					Bond	0,00
Bundle	100,00		Airsides Pressure Drop; %		Louvers	0,00
Ground clearance	0,00	Fan guard		0,00	Hail screen	0,00
Fan ring	0,00	Fan area blockage		0,00	Steam coil	0,00

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

 Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak :
 Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

	Process Data		Outside		Tubeside	
Fluid name	SPALINY				PVS	
Fluid condition			Sens. Gas		Sens. Gas	
Total flow rate	(kg/s)		2,517		3,175	
Weight fraction vapor, In/Out	(--)	1,000	1,000		1,000	
Temperature, In/Out	(Deg C)	1200,00	296,05		220,30	
Skin temperature, Min/Max	(Deg C)	246,33	922,30		246,18	
Wall temperature, Min/Max	(Deg C)	246,33	922,30		246,18	
Pressure, In/Out	(kPa)	101,326	101,212		610,909	
Pressure drop, Total/Allowed	(kPa)	0,114	0,000			
Tube pressure drop, Total/Allowed	(kPa)				29,358	
Velocity - Midpoint	(m/s)	4,54			8,39	
- In/Out	(m/s)				6,05	
Film coefficient, Bare/Extended	(W/m2-K)	49,54	49,54		97,44	
Mole fraction inert	(--)					
Heat transfer safety factor	(--)		1		1	
Fouling resistance	(m2-K/W)		0,000000		0,000000	

Overall Performance Data

Overall coef, Design/Clean/Actual	(W/m2-K)	31,744 /	31,614 /	31,614
Heat duty, Calculated/Specified	(MegaWatts)	2,7958 /	0,0000	
Effective mean temperature difference	(Deg C)	179,39		

See Runtime Message Report for Warning Messages.
Unit and Bundle Construction Information

Bays in parallel/unit	(--)	1	Bundles in parallel/bay		1	
Extended area/unit	(m2)	490,958	Bare area/unit	(m2)	490,958	
Extended area/bundle	(m2)	490,958	Bare area/bundle	(m2)	490,958	
Tubepasses/Tuberows	(--)	16 /	58	Number of tubes/bundle	(--)	864
Tube count, Odd rows/Even rows	(--)	14 /	14	Edge seals	(--)	Yes
Bundle width	(m)	1,395		Fan guard	(--)	No
Clearance	(mm)	9,525		Louvers	(--)	No
Header depth	(mm)	101,600		Steam coil	(--)	No
Header Box				Hail screen	(--)	No
- Plate thickness	(mm)	104,775		<i>Tube support information</i>		
- Tubesheet thickness	(mm)	117,475		- Number	(--)	1
Plenum type		Box		- Width	(mm)	25,400
Weight/Bundle	(kg)	44496		Orientation (from horiz.)	(deg)	0,00
Structure weight	(kg)	0		Tubeside volume	(L)	7927,8
Total weight, Dry / Wet	(kg)	44496 /	52418			
Ladder/walkway weight	(kg)	0		Cost Factor	(--)	215,651

Tube Information
See Next Page For Tube Information.

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Straight length	(m)	3,260				
Unfinned length	(mm)	0,000				
Unheated length	(mm)	260,351				
Tube form	(--)	Straight				
		<u>Type 1</u>	<u>Type 2</u>	<u>Type 3</u>	<u>Type 4</u>	<u>Type 5</u>
Transverse pitch	(mm)	110,000	90,000	90,000	90,000	90,000
Longitudinal pitch	(mm)	420,000	80,000	80,000	80,000	80,000
Outside diameter	(mm)	60,300	60,300	60,300	60,300	60,300
Inside diameter	(mm)	54,500	54,500	54,500	54,500	54,500
Tube type	(--)	Plain	Plain	Plain	Plain	Plain
Area ratio (out/in)	(--)	1,10642	1,10642	1,10642	1,10642	1,10642
Over fin diameter	(mm)					
Area ratio (fin/bare)	(--)					
Fins per unit length	(fin/meter)					
Fin root diameter	(mm)					
Fin height	(mm)					
Fin thickness at base	(mm)					
Fin thickness at tip	(mm)					
Fin type	(--)					
Fin efficiency	(%)					
Split segment height	(mm)					
Split segment width	(mm)					
Rectangular fin height	(mm)					
Rectangular fin width	(mm)					
Wall thickness (finned)	(mm)					
Number of stud rings	(stud/meter)					
Number of studs/ring	(--)					
Stud length	(mm)					
Stud diameter	(mm)					
Tube material		Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank
Fin material			Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank	
Internal tube type		None	None	None	None	None

For
educational
use only

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Inlet Airside Velocities		Actual	Standard
Face velocity	(m/s)	2,37	
Maximum velocity	(m/s)	6,03	
Volumetric flow	(100 m3/min)	6,471	
Maximum mass velocity	(kg/s-m2)	1,407	
Air humidity	(%)		
Volumetric flow per fan at fan inlet	(100 m3/min)	0,000	
Velocity at fan inlet	(m/s)	0,00	

Fan Description and Fan Power			
Number of fans per bay	(-)		0
Diameter	(m)		0,000
Tip clearance	(mm)		0,000
Ratio, fan area to bay face area	(-)		
Fan ring type	(-)		
Percent open area - in fan guard	(%)		0
- in hail screen	(%)		0
Ratio, ground clearance to fan diameter	(-)		
Percent blockage, other obstruction	(%)		0
Bundle pressure drop/ Velocity pressure	(Pa)	114,35 /	0,00
Fan and drive efficiency	(%)		0
Motor power per fan-design air temperature	(kW)		0,00
Motor power per fan-minimum air temperature	(kW)		0,00
Ambient temperature, maximum / minimum	(Deg C)	/	

Two-Phase Parameters				
Method	Inlet	Center	Outlet	Mix F

Heat Transfer and Pressure Drop Parameters			Tubeside	Outside
Midpoint j-factor	(-)			0,0139
Heat transfer	Wall Correction	(-)	0,9636	1,0000
	Row Correction	(-)		1,0602
Midpoint f-factor	(-)		0,0067	0,1304
Pressure drop	Wall Correction	(-)	0,9641	1,0000
	Row Correction	(-)		0,0000
Reynolds number	Inlet	(-)	51992	1611
	Midpoint	(-)	40428	3150
	Outlet	(-)	139329	4087
Fouling layer thickness	(mm)		0,000	0,000
Input minimum velocity	(m/s)			
Input maximum velocity	(m/s)			
Input minimum wall temperature	(Deg C)			
Input maximum wall temperature	(Deg C)			

Thermal Resistance (Percent)					Over Design
Air	Tube	Fouling	Metal	Bond	
					-0,41

Airside Pressure Drop (Percent)		
Across bundle	100,00	Other obstruction 0,00
Fan ring	0,00	Steam coil 0,00
Fan guard	0,00	Louvers 0,00
Ground clearance	0,00	

Tube Nozzle (Perpendicular)		Inlet	Outlet
Number of nozzles	(-)	1	1
Diameter	(mm)	444,50	444,50
Velocity	(m/s)	5,45	13,23
Nozzle R-V-SQ	(kg/m-s2)	111,57	270,78
Pressure drop	(kPa)	0,061	0,095

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Mean Metal Temperatures
Mean tube metal temperature in each tube pass, (Deg C)

Tuberow	Tube pass	Inside	Outside	Radial
1	1	250,9	251,1	251,0
2	1	253,2	253,4	253,3
3	1	255,7	255,9	255,8
4	1	258,5	258,6	258,5
5	2	270,7	270,8	270,8
6	2	273,3	273,4	273,4
7	2	276,1	276,3	276,2
8	2	279,2	279,3	279,3
9	3	292,8	293,0	292,9
10	3	295,8	296,0	295,9
11	3	299,1	299,3	299,2
12	3	302,7	302,9	302,8
13	4	317,7	317,9	317,8
14	4	321,1	321,3	321,2
15	4	324,8	325,0	324,9
16	4	328,8	329,1	329,0
17	5	345,8	346,0	345,9
18	5	349,7	349,9	349,8
19	5	353,9	354,1	354,0
20	5	358,5	358,8	358,7
21	6	377,2	377,4	377,3
22	6	381,6	381,9	381,8
23	6	386,5	386,8	386,6
24	6	391,8	392,1	391,9
25	7	413,0	413,3	413,2
26	7	418,0	418,3	418,2
27	7	423,4	423,8	423,6
28	7	429,4	429,8	429,6
29	8	453,1	453,5	453,3
30	8	458,8	459,2	459,0
31	8	465,1	465,5	465,3
32	8	471,9	472,3	472,1
33	9	498,8	499,3	499,1
34	9	505,4	505,9	505,6
35	9	512,6	513,1	512,9
36	9	520,5	521,0	520,8
37	10	550,4	550,9	550,6
38	10	557,9	558,5	558,2
39	10	566,2	566,8	566,5
40	10	575,3	575,9	575,6
41	11	609,5	610,1	609,8
42	11	618,2	618,9	618,6
43	11	627,8	628,5	628,2
44	11	638,3	639,1	638,7
45	12	676,2	677,0	676,6
46	12	686,3	687,1	686,7
47	12	697,4	698,2	697,8
48	12	709,5	710,5	710,0
49	13	753,2	754,1	753,7
50	13	764,8	765,8	765,3
51	13	777,6	778,7	778,2
52	13	791,7	792,9	792,3
53	14	840,0	841,1	840,6
54	14	853,4	854,5	854,0
55	14	868,2	869,4	868,8
56	14	884,4	885,7	885,1
57	16	909,1	911,5	910,4
58	15	894,1	897,4	895,8

Released to the following organization:

VUT Brno
VUT Brno

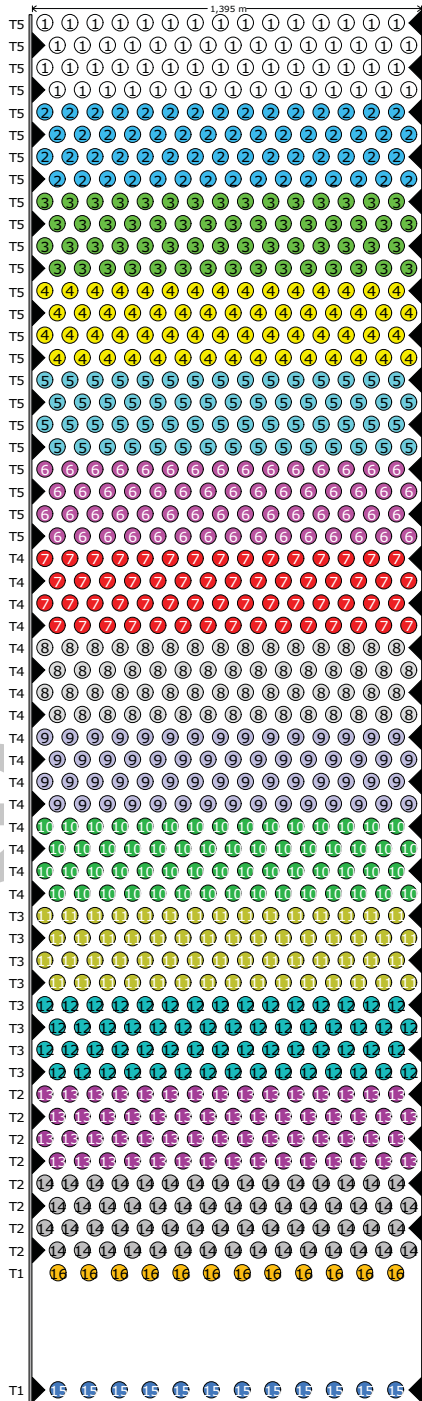
Xacc E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow



Name	Type	Outer Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Transverse Pitch (mm)	Longitudinal Pitch (mm)	Fix Height (mm)	Bundle Information
1. Selica 1	Plain	60,300	2,900	110,000	420,000	n/a	Bundle width: 1,395 m
2. Selica 2	Plain	60,300	2,900	90,000	80,000	n/a	Bundle height: 14,850 mm
3. Selica 3	Plain	60,300	2,900	90,000	80,000	n/a	Number of tubes: 54
4. Selica 4	Plain	60,300	2,900	90,000	80,000	n/a	Minimum wall clearance: Right: 14,850 mm
5. Selica 5	Plain	60,300	2,900	90,000	80,000	n/a	Number of tubes per panel: 60

Row	Number of Tubes	Tube Type	Wall Clearance (mm)	Row	Number of Tubes	Tube Type	Wall Clearance (mm)
1	15	Selica 5	14,850	30	15	Selica 4	59,850
2	15	Selica 5	59,850	31	15	Selica 4	14,850
3	15	Selica 5	14,850	32	15	Selica 4	59,850
4	15	Selica 5	59,850	33	15	Selica 4	14,850
5	15	Selica 5	59,850	34	15	Selica 4	59,850
6	15	Selica 5	59,850	35	15	Selica 4	14,850
7	15	Selica 5	14,850	36	15	Selica 4	59,850
8	15	Selica 5	59,850	37	15	Selica 4	14,850
9	15	Selica 5	14,850	38	15	Selica 4	59,850
10	15	Selica 5	59,850	39	15	Selica 4	14,850
11	15	Selica 5	14,850	40	15	Selica 4	59,850
12	15	Selica 5	59,850	41	15	Selica 4	14,850
13	15	Selica 5	14,850	42	15	Selica 4	59,850
14	15	Selica 5	59,850	43	15	Selica 4	14,850
15	15	Selica 5	14,850	44	15	Selica 4	59,850
16	15	Selica 5	59,850	45	15	Selica 4	14,850
17	15	Selica 5	14,850	46	15	Selica 4	59,850
18	15	Selica 5	59,850	47	15	Selica 4	14,850
19	15	Selica 5	14,850	48	15	Selica 4	59,850
20	15	Selica 5	59,850	49	15	Selica 4	14,850
21	15	Selica 5	14,850	50	15	Selica 4	59,850
22	15	Selica 5	59,850	51	15	Selica 4	14,850
23	15	Selica 5	14,850	52	15	Selica 4	59,850
24	15	Selica 5	59,850	53	15	Selica 4	14,850
25	15	Selica 5	14,850	54	15	Selica 4	59,850
26	15	Selica 5	59,850	55	15	Selica 4	14,850
27	15	Selica 5	14,850	56	15	Selica 4	59,850
28	15	Selica 5	59,850	57	15	Selica 4	14,850
29	15	Selica 5	14,850	58	15	Selica 4	62,350

For
educational
use only

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Unit Data

Run mode	Simulation
Unit type	Economizer
Hot fluid location	Shellside
Tube bundle angle (relative to horizontal)	0,00 deg
Number of bays in parallel per unit	1
Number of bundles in parallel per bay	1
Number of services	1
Number of tubepasses per bundle	16
Tubeside nozzle distribution	Radial
Tubeside nozzle distribution	Perpendicular
Tubeside nozzle impingement device	None
Inlet inside diameter	444,501 mm
Number of inlet nozzles per bundle	1
Outlet inside diameter	444,501 mm
Number of outlet nozzles per bundle	1

Fans Data

Number of fans per bay	0
Fan arrangement	Forced draft
Total combined fan and drive efficiency	65 %
Fan manufacturer	Unspecified
Fan ring type (inlet)	Straight

Optional Data

Steam coil present	No
Louvers present	No
Header box depth	101,600 mm
Plenum chamber type	Box
Number of intermediate tube supports	Program set

Bundle Data

Number of tubepasses	16
Number of tuberows	58
Number of tubes in odd numbered row	14
Number of tubes in even numbered row	14
Tube layout	Staggered
Tube form	Straight
Bundle width	1,395 m
Clearance, wall to first tube	9,525 mm
Bypass seal half tubes	Yes
Default bundle type	User defined
Tube length	3,260 m

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Tubes Data**Sekce 1 Data**

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	28,000 W/m-C
Tube outside diameter	60,300 mm
Tube wall thickness	2,900 mm
Tube longitudinal pitch	420,000 mm
Tube pitch	110,000 mm

Sekce 2 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	28,000 W/m-C
Tube outside diameter	60,300 mm
Tube wall thickness	2,900 mm
Tube longitudinal pitch	80,000 mm
Tube pitch	90,000 mm

Sekce 3 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	30,000 W/m-C
Tube outside diameter	60,300 mm
Tube wall thickness	2,900 mm
Tube longitudinal pitch	80,000 mm
Tube pitch	90,000 mm

Sekce 4 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	35,000 W/m-C
Tube outside diameter	60,300 mm
Tube wall thickness	2,900 mm
Tube longitudinal pitch	80,000 mm
Tube pitch	90,000 mm

Sekce 5 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	40,000 W/m-C
Tube outside diameter	60,300 mm
Tube wall thickness	2,900 mm
Tube longitudinal pitch	80,000 mm
Tube pitch	90,000 mm

Released to the following organization:

VUT Brno

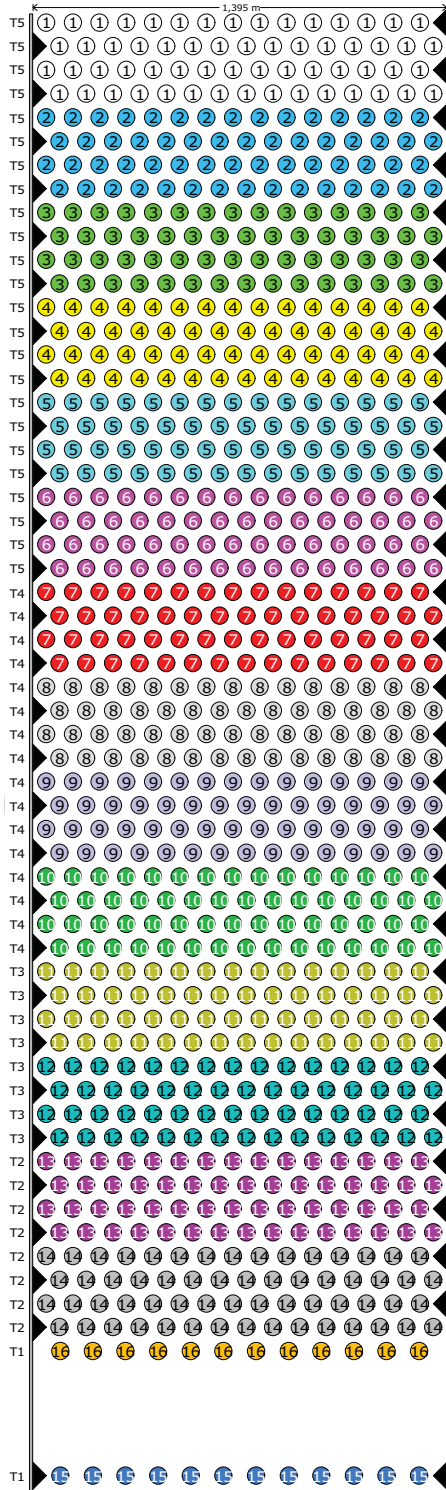
VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Bundle Layout Data



For
cation
se only

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Bundle Layout Data (cont.)

Tube Type	Row	Tube Wall Ctr.	
		Count	mm
Sekce 5	1-1	15	14,850
Sekce 5	3-2	15	59,850
Sekce 5	4-3	15	14,850
Sekce 5	5-4	15	59,850
Sekce 5	6-5	15	14,850
Sekce 5	7-6	15	59,850
Sekce 5	8-7	15	14,850
Sekce 5	9-8	15	59,850
Sekce 5	10-9	15	14,850
Sekce 5	11-10	15	59,850
Sekce 5	12-11	15	14,850
Sekce 5	13-12	15	59,850
Sekce 5	14-13	15	14,850
Sekce 5	15-14	15	59,850
Sekce 5	16-15	15	14,850
Sekce 5	17-16	15	59,850
Sekce 5	18-17	15	14,850
Sekce 5	19-18	15	59,850
Sekce 5	20-19	15	14,850
Sekce 5	21-20	15	59,850
Sekce 5	22-21	15	14,850
Sekce 5	23-22	15	59,850
Sekce 5	24-23	15	14,850
Sekce 5	25-24	15	59,850
Sekce 4	26-25	15	14,850
Sekce 4	27-26	15	59,850
Sekce 4	28-27	15	14,850
Sekce 4	29-28	15	59,850
Sekce 4	30-29	15	14,850
Sekce 4	31-30	15	59,850
Sekce 4	32-31	15	14,850
Sekce 4	33-32	15	59,850
Sekce 4	34-33	15	14,850
Sekce 4	35-34	15	59,850
Sekce 4	36-35	15	14,850
Sekce 4	37-36	15	59,850
Sekce 4	38-37	15	14,850
Sekce 4	39-38	15	59,850
Sekce 4	40-39	15	14,850
Sekce 4	41-40	15	59,850
Sekce 3	42-41	15	14,850
Sekce 3	43-42	15	59,850
Sekce 3	44-43	15	14,850
Sekce 3	45-44	15	59,850
Sekce 3	46-45	15	14,850
Sekce 3	47-46	15	59,850
Sekce 3	48-47	15	14,850

For
educational
use only

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Bundle Layout Data (cont.)

Tube Type	Row	Tube Wall Ctr.	
		Count	mm
Sekce 3	49-48	15	59,850
Sekce 2	50-49	15	14,850
Sekce 2	51-50	15	59,850
Sekce 2	52-51	15	14,850
Sekce 2	53-52	15	59,850
Sekce 2	54-53	15	14,850
Sekce 2	55-54	15	59,850
Sekce 2	56-55	15	14,850
Sekce 2	57-56	15	59,850
Sekce 1	58-58	12	62,350

Process Conditions Data

	Hot Fluid	Cold Fluid
Phase condition	Sensible gas	Sensible gas
Flow rate	2,5170	3,1750 kg/s
Inlet vapor fraction	1	1
Outlet vapor fraction	1	1
Inlet temperature	1200,00	220,30 C
Inlet Pressure	101,325	610,900 kPa
Duty multiplier		1

Hot Fluid Property Data

Fluid name	SPALINY
Physical property method	Component by component properties
Heat release method	Program calculated
Flash type	Integral
Quantity units	Moles
Temperature interpolation option	Program
Number of components	5

Hot Fluid Component Data

Component number	1	2	3
Component name	Argon	Carbon Dioxide	Nitrogen
Comp. bank name	Argon	Carbon Dioxide	Nitrogen
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	208	2	131
Component phase	Mixed	Mixed	Mixed
Component quantity	0,86	5	73,51
Component number	4	5	
Component name	Oxygen	Water (IAPWS 1997)	
Comp. bank name	Oxygen	Water (IAPWS 1997)	
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR	
Component code	201	1	
Component phase	Mixed	Mixed	
Component quantity	9,7	10,93	



Input Reprint

Released to the following organization:
VUT Brno
VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:09 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Cold Fluid Property Data

Fluid name	PVS
Physical property method	Component by component properties
Heat release method	Program calculated
Flash type	Integral
Quantity units	Weight
Temperature interpolation option	Program
Number of components	2

Cold Fluid Component Data

Component number	1	2
Component name	Air	Water (IAPWS 1997)
Comp. bank name	Air	Water (IAPWS 1997)
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	3	1
Component phase	Vapor	Mixed
Component quantity	74,64	25,36

Control Name Data

Case name Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 1 by M. Jonak

Control Methods Data

Shellside friction factor method	Commercial
Tubeside friction factor method	Commercial
Pure component condensation	No
Condensing correlation	HTRI Proration
Mole fraction inerts	0
Momentum exclusion	0 %
Pure component boiling	No
Check film boiling	Yes
Nucleate boiling method	Physical property/theoretical boiling range
Component boiling method	Nucleate and convective
High-fin heat transfer method	HTRI
High-fin pressure drop method	HTRI
Single increment method	No
Force phase separation in tube headers	No

Control Safety Data

Hot fluid/shellside film coefficient multiplier	1
Hot fluid/shellside friction factor multiplier	1
Cold fluid/tubeside film coefficient multiplier	1
Cold fluid/tubeside friction factor multiplier	1
Cold fluid fraction of critical flux for film boiling	1

Výsledky alternativy 2



Output Summary

Released to the following organization:

VUT Brno
VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

See Data Check Messages Report for Warning Messages.

See Runtime Message Report for Warning Messages.

Process Conditions		Outside		Tubeside		
Fluid name	SPALINY			PVS		
Fluid condition			Sens. Gas		Sens. Gas	
Total flow rate	(kg/s)		2,517		3,175	
Weight fraction vapor, In/Out		1,000	1,000	1,000	1,000	
Temperature, In/Out	(Deg C)	1200,00	281,98	220,30	871,05	
Skin temperature, Min/Max	(Deg C)	238,40	924,82	238,32	923,49	
Pressure, Inlet/Outlet	(kPa)	101,326	101,288	610,909	589,906	
Pressure drop, Total/Allow	(kPa) (kPa)	0,039	0,000	21,003	0,000	
Midpoint velocity	(m/s)		2,29		7,29	
- In/Out	(m/s)			5,30	51,11	
Heat transfer safety factor	(--)		1		1	
Fouling	(m2-K/W)		0,000000		0,000000	
Exchanger Performance						
Outside film coef	(W/m2-K)	40,07	Actual U	(W/m2-K)	27,518	
Tubeside film coef	(W/m2-K)	102,41	Required U	(W/m2-K)	27,333	
Clean coef	(W/m2-K)	27,518	Area	(m2)	647,849	
Hot regime	Sens. Gas		Overdesign	(%)	0,68	
Cold regime	Sens. Gas		Tube Geometry			
EMTD	(Deg C)	160,1	Tube type	Plain		
Duty	(MegaWatts)	2,836	Tube OD	(mm)	33,700	
Unit Geometry			Tube ID	(mm)	29,100	
Bays in parallel per unit		1	Length	(m)	3,260	
Bundles parallel per bay		1	Area ratio(out/in)	(--)	1,15808	
Extended area	(m2)	647,849	Layout	Staggered		
Bare area	(m2)	647,849	Trans pitch	(mm)	62,000	
Bundle width	(m)	1,891	Long pitch	(mm)	70,000	
Nozzle		Inlet	Outlet	Number of passes	(--)	10
Number	(--)	1	1	Number of rows	(--)	68
Diameter	(mm)	444,50	444,50	Tubecount	(--)	2040
Velocity	(m/s)	5,45	13,14	Tubecount Odd/Even	(--)	14 / 14
R-V-SQ	(kg/m-s2)	111,57	268,93	Tube material	Not in data bank	
Pressure drop	(kPa)	0,061	0,094	Fin Geometry		
Fan Geometry			Type	None		
No/bay	(--)		0	Fins/length	fin/meter	
Fan ring type				Fin root	mm	
Diameter	(m)		0,000	Height	mm	
Ratio, Fan/bundle face area	(--)			Base thickness	mm	
Driver power	(kW)		0,00	Over fin	mm	
Tip clearance	(mm)		0,000	Efficiency	(%)	
Efficiency	(%)		0	Area ratio (fin/bare)	(--)	
Airsides Velocities			Actual	Standard	Material	
Face	(m/s)		1,75		Thermal Resistance; %	
Maximum	(m/s)		4,23		Air	68,68
Flow	(100 m3/min)		6,471		Tube	31,12
Velocity pressure	(Pa)		0,00		Fouling	0,00
Bundle pressure drop	(Pa)		38,72		Metal	0,20
Bundle	100,00				Bond	0,00
				Airsides Pressure Drop; %	Louvers	0,00
Ground clearance	0,00	Fan guard		0,00	Hail screen	0,00
Fan ring	0,00	Fan area blockage		0,00	Steam coil	0,00

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

 Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak :
 Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

	Process Data		Outside		Tubeside	
Fluid name	SPALINY				PVS	
Fluid condition			Sens. Gas		Sens. Gas	
Total flow rate	(kg/s)		2,517		3,175	
Weight fraction vapor, In/Out	(--)	1,000	1,000		1,000	
Temperature, In/Out	(Deg C)	1200,00	281,98		220,30	
Skin temperature, Min/Max	(Deg C)	238,40	924,82		238,32	
Wall temperature, Min/Max	(Deg C)	238,40	924,82		238,32	
Pressure, In/Out	(kPa)	101,326	101,288		610,909	
Pressure drop, Total/Allowed	(kPa)	0,039	0,000			
Tube pressure drop, Total/Allowed	(kPa)				21,003	
Velocity - Midpoint	(m/s)	2,29			7,29	
- In/Out	(m/s)				5,30	
Film coefficient, Bare/Extended	(W/m2-K)	40,07	40,07		102,41	
Mole fraction inert	(--)					
Heat transfer safety factor	(--)		1		1	
Fouling resistance	(m2-K/W)		0,000000		0,000000	

Overall Performance Data

Overall coef, Design/Clean/Actual	(W/m2-K)	27,333 /	27,518 /	27,518
Heat duty, Calculated/Specified	(MegaWatts)	2,8356 /	0,0000	
Effective mean temperature difference	(Deg C)	160,14		

See Runtime Message Report for Warning Messages.
Unit and Bundle Construction Information

Bays in parallel/unit	(--)	1	Bundles in parallel/bay		1	
Extended area/unit	(m2)	647,849	Bare area/unit	(m2)	647,849	
Extended area/bundle	(m2)	647,849	Bare area/bundle	(m2)	647,849	
Tubepasses/Tuberows	(--)	10 /	68	Number of tubes/bundle	(--)	2040
Tube count, Odd rows/Even rows	(--)	14 /	14	Edge seals	(--)	Yes
Bundle width	(m)	1,891	Fan guard	(--)	No	
Clearance	(mm)	9,525	Louvers	(--)	No	
Header depth	(mm)	101,600	Steam coil	(--)	No	
Header Box			Hail screen	(--)	No	
- Plate thickness	(mm)	104,775	Tube support information			
- Tubesheet thickness	(mm)	117,475	- Number	(--)	1	
Plenum type		Box	- Width	(mm)	25,400	
Weight/Bundle	(kg)	52211	Orientation (from horiz.)	(deg)	0,00	
Structure weight	(kg)	0	Tubeside volume	(L)	5937,3	
Total weight, Dry / Wet	(kg)	52211 /	58144			
Ladder/walkway weight	(kg)	0	Cost Factor	(--)	273,901	

Tube Information
See Next Page For Tube Information.

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Straight length	(m)	3,260				
Unfinned length	(mm)	0,000				
Unheated length	(mm)	260,351				
Tube form	(--)	Straight				
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5
Transverse pitch	(mm)	62,000	62,000	62,000	62,000	62,000
Longitudinal pitch	(mm)	70,000	70,000	70,000	70,000	70,000
Outside diameter	(mm)	33,700	33,700	33,700	33,700	33,700
Inside diameter	(mm)	29,100	29,100	29,100	29,100	29,100
Tube type	(--)	Plain	Plain	Plain	Plain	Plain
Area ratio (out/in)	(--)	1,15808	1,15808	1,15808	1,15808	1,15808
Over fin diameter	(mm)					
Area ratio (fin/bare)	(--)					
Fins per unit length	(fin/meter)					
Fin root diameter	(mm)					
Fin height	(mm)					
Fin thickness at base	(mm)					
Fin thickness at tip	(mm)					
Fin type	(--)					
Fin efficiency	(%)					
Split segment height	(mm)					
Split segment width	(mm)					
Rectangular fin height	(mm)					
Rectangular fin width	(mm)					
Wall thickness (finned)	(mm)					
Number of stud rings	(stud/meter)					
Number of studs/ring	(--)					
Stud length	(mm)					
Stud diameter	(mm)					
Tube material		Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank
Fin material			Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank	
Internal tube type		None	None	None	None	None

For educational use only

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Inlet Airside Velocities		Actual	Standard
Face velocity	(m/s)	1,75	
Maximum velocity	(m/s)	4,23	
Volumetric flow	(100 m3/min)	6,471	
Maximum mass velocity	(kg/s-m2)	0,988	
Air humidity	(%)		
Volumetric flow per fan at fan inlet	(100 m3/min)	0,000	
Velocity at fan inlet	(m/s)	0,00	

Fan Description and Fan Power			
Number of fans per bay	(-)		0
Diameter	(m)		0,000
Tip clearance	(mm)		0,000
Ratio, fan area to bay face area	(-)		
Fan ring type	(-)		
Percent open area	(%)		0
- in fan guard	(%)		0
- in hail screen	(%)		0
Ratio, ground clearance to fan diameter	(-)		
Percent blockage, other obstruction	(%)		0
Bundle pressure drop/ Velocity pressure	(Pa)	38,72 /	0,00
Fan and drive efficiency	(%)		0
Motor power per fan-design air temperature	(kW)		0,00
Motor power per fan-minimum air temperature	(kW)		0,00
Ambient temperature, maximum / minimum	(Deg C)	/	

Two-Phase Parameters				
Method	Inlet	Center	Outlet	Mix F

Heat Transfer and Pressure Drop Parameters			Tubeside	Outside
Midpoint j-factor	(-)			0,0208
Heat transfer	Wall Correction	(-)	0,9726	1,0000
	Row Correction	(-)		1,0000
Midpoint f-factor	(-)		0,0078	0,1140
Pressure drop	Wall Correction	(-)	0,9741	1,0000
	Row Correction	(-)		0,0000
Reynolds number	Inlet	(-)	24343	633
	Midpoint	(-)	19245	949
	Outlet	(-)	51916	1220
Fouling layer thickness	(mm)		0,000	0,000
Input minimum velocity	(m/s)			
Input maximum velocity	(m/s)			
Input minimum wall temperature	(Deg C)			
Input maximum wall temperature	(Deg C)			

Thermal Resistance (Percent)					Over Design
Air	Tube	Fouling	Metal	Bond	
					0,68

Airside Pressure Drop (Percent)			
Across bundle	100,00	Other obstruction	0,00
Fan ring	0,00	Steam coil	0,00
Fan guard	0,00	Louvers	0,00
Ground clearance	0,00		

Tube Nozzle (Perpendicular)		Inlet	Outlet
Number of nozzles	(-)	1	1
Diameter	(mm)	444,50	444,50
Velocity	(m/s)	5,45	13,14
Nozzle R-V-SQ	(kg/m-s2)	111,57	268,93
Pressure drop	(kPa)	0,061	0,094

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Mean Metal Temperatures
Mean tube metal temperature in each tubepass, (Deg C)

Tuberow	Tubepass	Inside	Outside	Radial
1	1	246,1	246,2	246,2
2	1	247,9	247,9	247,9
3	1	249,7	249,8	249,8
4	1	251,7	251,8	251,8
5	1	253,9	254,0	253,9
6	1	256,2	256,3	256,2
7	1	258,6	258,7	258,7
8	1	261,4	261,5	261,4
9	2	278,0	278,1	278,1
10	2	280,2	280,3	280,3
11	2	282,6	282,7	282,6
12	2	285,1	285,2	285,2
13	2	287,8	287,9	287,9
14	2	290,8	290,9	290,8
15	2	293,9	294,0	294,0
16	2	297,3	297,4	297,4
17	3	317,9	318,0	317,9
18	3	320,7	320,8	320,7
19	3	323,7	323,8	323,8
20	3	326,9	327,1	327,0
21	3	330,4	330,6	330,5
22	3	334,2	334,4	334,3
23	3	338,3	338,5	338,4
24	3	342,7	342,8	342,8
25	4	367,5	367,6	367,6
26	4	371,1	371,2	371,1
27	4	374,9	375,1	375,0
28	4	379,1	379,3	379,2
29	4	383,7	383,9	383,8
30	4	386,5	386,7	386,6
31	4	391,5	391,7	391,6
32	4	397,0	397,2	397,1
33	5	428,0	428,2	428,1
34	5	432,5	432,7	432,6
35	5	437,3	437,5	437,4
36	5	442,5	442,7	442,6
37	5	448,2	448,4	448,3
38	5	454,3	454,6	454,4
39	5	461,0	461,2	461,1
40	5	468,2	468,5	468,3
41	6	505,3	505,5	505,4
42	6	511,0	511,2	511,1
43	6	517,1	517,4	517,3
44	6	523,8	524,1	524,0
45	6	531,1	531,5	531,3
46	6	539,0	539,4	539,2
47	6	547,7	548,0	547,9
48	6	557,0	557,4	557,2
49	7	605,6	605,9	605,8
50	7	613,2	613,6	613,4
51	7	621,5	621,9	621,7
52	7	630,5	631,0	630,8
53	7	640,4	640,9	640,7
54	7	651,1	651,7	651,4
55	7	662,8	663,4	663,1
56	7	675,6	676,2	675,9
57	8	733,3	733,9	733,6
58	8	743,5	744,1	743,8
59	8	754,7	755,3	755,0
60	8	766,8	767,5	767,2

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Mean Metal Temperatures
Mean tube metal temperature in each tubepass, (Deg C)

Tuberow	Tubepass	Inside	Outside	Radial
61	8	780,1	780,8	780,5
62	8	794,6	795,4	795,0
63	8	810,5	811,4	810,9
64	8	827,8	828,7	828,3
65	9	823,5	824,6	824,1
66	9	833,9	835,2	834,6
67	10	887,0	888,2	887,6
68	10	898,8	900,3	899,6

For
 educational
 use only

Released to the following organization:

VUT Brno
VUT Brno

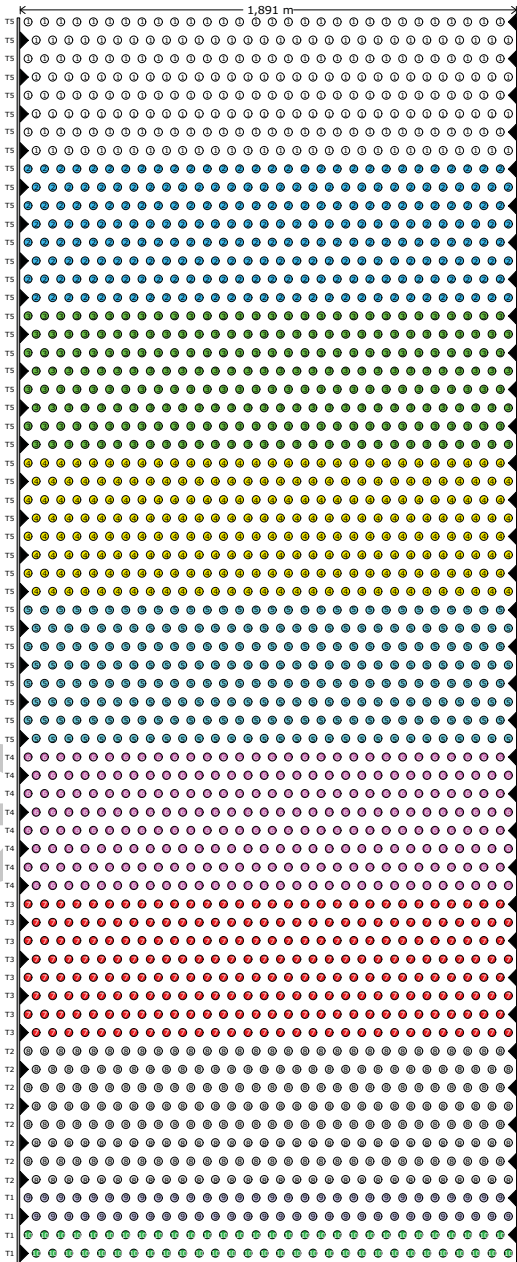
Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow



Name	Type	Outer Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Transverse Pitch (mm)	Longitudinal Pitch (mm)	Fit Height (mm)
1 Sekce 1	Plain	33,700	2,300	62,000	70,000	n/a
2 Sekce 2	Plain	33,700	2,300	62,000	70,000	n/a
3 Sekce 3	Plain	33,700	2,300	62,000	70,000	n/a
4 Sekce 4	Plain	33,700	2,300	62,000	70,000	n/a
5 Sekce 5	Plain	33,700	2,300	62,000	70,000	n/a

Row	Number of Tubes	Tube Type	Wall Clearance (mm)	Row	Number of Tubes	Tube Type	Wall Clearance (mm)
1	30	Sekce 5	14,150	35	30	Sekce 5	14,150
2	30	Sekce 5	45,150	36	30	Sekce 5	45,150
3	30	Sekce 5	14,150	37	30	Sekce 5	14,150
4	30	Sekce 5	45,150	38	30	Sekce 5	45,150
5	30	Sekce 5	14,150	39	30	Sekce 5	14,150
6	30	Sekce 5	45,150	40	30	Sekce 5	45,150
7	30	Sekce 5	14,150	41	30	Sekce 4	14,150
8	30	Sekce 5	45,150	42	30	Sekce 4	45,150
9	30	Sekce 5	14,150	43	30	Sekce 4	14,150
10	30	Sekce 5	45,150	44	30	Sekce 4	45,150
11	30	Sekce 5	14,150	45	30	Sekce 4	14,150
12	30	Sekce 5	45,150	46	30	Sekce 4	45,150
13	30	Sekce 5	14,150	47	30	Sekce 4	14,150
14	30	Sekce 5	45,150	48	30	Sekce 4	45,150
15	30	Sekce 5	14,150	49	30	Sekce 3	14,150
16	30	Sekce 5	45,150	50	30	Sekce 3	45,150
17	30	Sekce 5	14,150	51	30	Sekce 3	14,150
18	30	Sekce 5	45,150	52	30	Sekce 3	45,150
19	30	Sekce 5	14,150	53	30	Sekce 3	14,150
20	30	Sekce 5	45,150	54	30	Sekce 3	45,150
21	30	Sekce 5	14,150	55	30	Sekce 3	14,150
22	30	Sekce 5	45,150	56	30	Sekce 3	45,150
23	30	Sekce 5	14,150	57	30	Sekce 2	14,150
24	30	Sekce 5	45,150	58	30	Sekce 2	45,150
25	30	Sekce 5	14,150	59	30	Sekce 2	14,150
26	30	Sekce 5	45,150	60	30	Sekce 2	45,150
27	30	Sekce 5	14,150	61	30	Sekce 2	14,150
28	30	Sekce 5	45,150	62	30	Sekce 2	45,150
29	30	Sekce 5	14,150	63	30	Sekce 2	14,150
30	30	Sekce 5	45,150	64	30	Sekce 2	45,150
31	30	Sekce 5	14,150	65	30	Sekce 1	14,150
32	30	Sekce 5	45,150	66	30	Sekce 1	45,150
33	30	Sekce 5	14,150	67	30	Sekce 1	14,150
34	30	Sekce 5	45,150	68	30	Sekce 1	45,150

Bundle Information	
Bundle width	1,891 m
Number of tube rows	68
Number of tubes	3040
Minimum wall clearance	
Left	14,150 mm
Right	14,150 mm
Number of tubes per pass	
● Tube pass # 1:	240
● Tube pass # 2:	240
● Tube pass # 3:	240
● Tube pass # 4:	240
● Tube pass # 5:	240
● Tube pass # 6:	240
● Tube pass # 7:	240
● Tube pass # 8:	240
● Tube pass # 9:	60
● Tube pass #10:	60

For
ationa
only

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Unit Data

Run mode	Simulation
Unit type	Economizer
Hot fluid location	Shellside
Tube bundle angle (relative to horizontal)	0,00 deg
Number of bays in parallel per unit	1
Number of bundles in parallel per bay	1
Number of services	1
Number of tubepasses per bundle	10
Tubeside nozzle distribution	Radial
Tubeside nozzle distribution	Perpendicular
Tubeside nozzle impingement device	None
Inlet inside diameter	444,501 mm
Number of inlet nozzles per bundle	1
Outlet inside diameter	444,501 mm
Number of outlet nozzles per bundle	1

Fans Data

Number of fans per bay	0
Fan arrangement	Forced draft
Total combined fan and drive efficiency	65 %
Fan manufacturer	Unspecified
Fan ring type (inlet)	Straight

Optional Data

Steam coil present	No
Louvers present	No
Header box depth	101,600 mm
Plenum chamber type	Box
Number of intermediate tube supports	Program set

Bundle Data

Number of tubepasses	10
Number of tuberows	68
Number of tubes in odd numbered row	14
Number of tubes in even numbered row	14
Tube layout	Staggered
Tube form	Straight
Bundle width	1,891 m
Clearance, wall to first tube	9,525 mm
Bypass seal half tubes	Yes
Default bundle type	User defined
Tube length	3,260 m

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Tubes Data**Sekce 1 Data**

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	28,000 W/m-C
Tube outside diameter	33,700 mm
Tube wall thickness	2,300 mm
Tube longitudinal pitch	70,000 mm
Tube pitch	62,000 mm

Sekce 2 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	28,000 W/m-C
Tube outside diameter	33,700 mm
Tube wall thickness	2,300 mm
Tube longitudinal pitch	70,000 mm
Tube pitch	62,000 mm

Sekce 3 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	30,000 W/m-C
Tube outside diameter	33,700 mm
Tube wall thickness	2,300 mm
Tube longitudinal pitch	70,000 mm
Tube pitch	62,000 mm

Sekce 4 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	35,000 W/m-C
Tube outside diameter	33,700 mm
Tube wall thickness	2,300 mm
Tube longitudinal pitch	70,000 mm
Tube pitch	62,000 mm

Sekce 5 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	40,000 W/m-C
Tube outside diameter	33,700 mm
Tube wall thickness	2,300 mm
Tube longitudinal pitch	70,000 mm
Tube pitch	62,000 mm

Released to the following organization:

VUT Brno

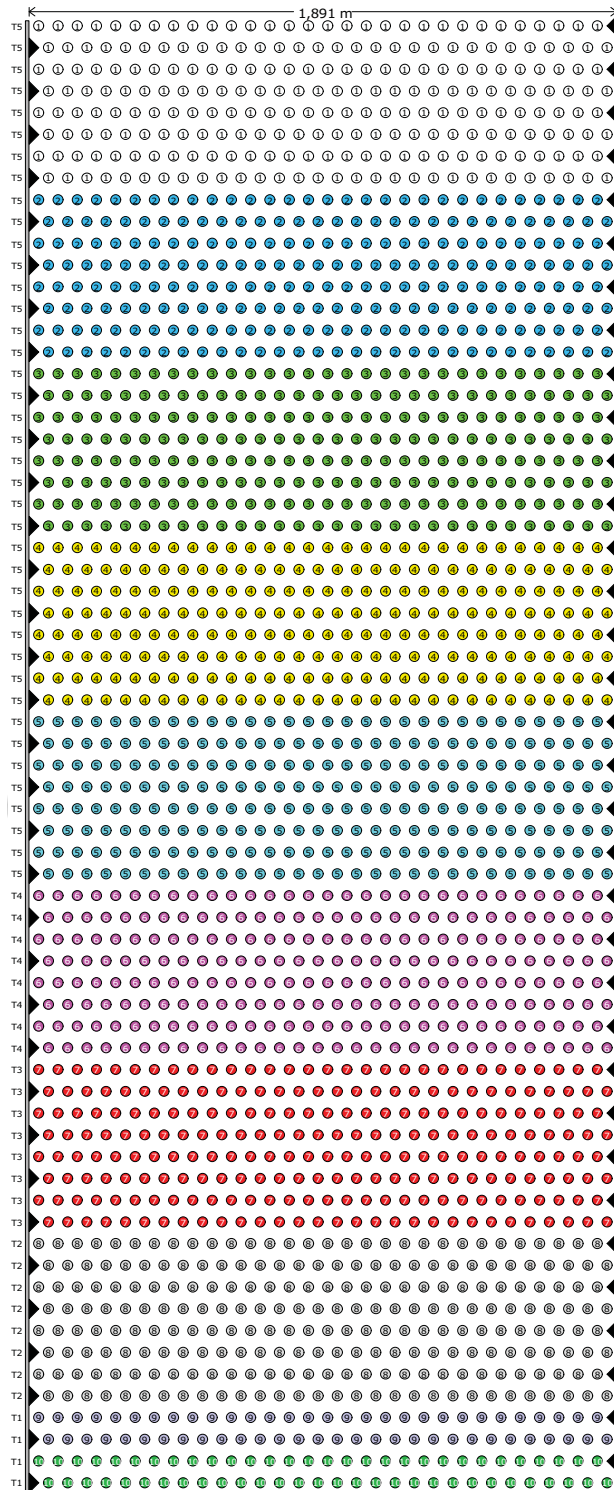
VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Bundle Layout Data



Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Bundle Layout Data (cont.)

Tube Type	Row	Tube Wall Clr.	
		Count	mm
Sekce 5	1-1	30	14,150
Sekce 5	3-2	30	45,150
Sekce 5	4-3	30	14,150
Sekce 5	5-4	30	45,150
Sekce 5	6-5	30	14,150
Sekce 5	7-6	30	45,150
Sekce 5	8-7	30	14,150
Sekce 5	9-8	30	45,150
Sekce 5	10-9	30	14,150
Sekce 5	11-10	30	45,150
Sekce 5	12-11	30	14,150
Sekce 5	13-12	30	45,150
Sekce 5	14-13	30	14,150
Sekce 5	15-14	30	45,150
Sekce 5	16-15	30	14,150
Sekce 5	17-16	30	45,150
Sekce 5	18-17	30	14,150
Sekce 5	19-18	30	45,150
Sekce 5	20-19	30	14,150
Sekce 5	21-20	30	45,150
Sekce 5	22-21	30	14,150
Sekce 5	23-22	30	45,150
Sekce 5	24-23	30	14,150
Sekce 5	25-24	30	45,150
Sekce 5	26-25	30	14,150
Sekce 5	27-26	30	45,150
Sekce 5	28-27	30	14,150
Sekce 5	29-28	30	45,150
Sekce 5	30-29	30	14,150
Sekce 5	31-30	30	45,150
Sekce 5	32-31	30	14,150
Sekce 5	33-32	30	45,150
Sekce 5	34-33	30	14,150
Sekce 5	35-34	30	45,150
Sekce 5	36-35	30	14,150
Sekce 5	37-36	30	45,150
Sekce 5	38-37	30	14,150
Sekce 5	39-38	30	45,150
Sekce 5	40-39	30	14,150
Sekce 5	41-40	30	45,150
Sekce 4	42-41	30	14,150
Sekce 4	43-42	30	45,150
Sekce 4	44-43	30	14,150
Sekce 4	45-44	30	45,150
Sekce 4	46-45	30	14,150
Sekce 4	47-46	30	45,150
Sekce 4	48-47	30	14,150

For
educational
use only

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Bundle Layout Data (cont.)

Tube Type	Row	Tube Wall Ctr.	
		Count	mm
Sekce 4	49-48	30	45,150
Sekce 3	50-49	30	14,150
Sekce 3	51-50	30	45,150
Sekce 3	52-51	30	14,150
Sekce 3	53-52	30	45,150
Sekce 3	54-53	30	14,150
Sekce 3	55-54	30	45,150
Sekce 3	56-55	30	14,150
Sekce 3	57-56	30	45,150
Sekce 2	58-57	30	14,150
Sekce 2	59-58	30	45,150
Sekce 2	60-59	30	14,150
Sekce 2	61-60	30	45,150
Sekce 2	62-61	30	14,150
Sekce 2	63-62	30	45,150
Sekce 2	64-63	30	14,150
Sekce 2	65-64	30	45,150
Sekce 1	66-65	30	14,150
Sekce 1	67-66	30	45,150
Sekce 1	68-67	30	14,150
Sekce 1	69-68	30	45,150

Process Conditions Data

	Hot Fluid	Cold Fluid
Phase condition	Sensible gas	Sensible gas
Flow rate	2,5170	3,1750 kg/s
Inlet vapor fraction	1	1
Outlet vapor fraction	1	1
Inlet temperature	1200,00	220,30 C
Inlet Pressure	101,325	610,900 kPa
Duty multiplier		1

Hot Fluid Property Data

Fluid name	SPALINY
Physical property method	Component by component properties
Heat release method	Program calculated
Flash type	Integral
Quantity units	Moles
Temperature interpolation option	Program
Number of components	5



Input Reprint

Released to the following organization:
VUT Brno
VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Hot Fluid Component Data

Component number	1	2	3
Component name	Argon	Carbon Dioxide	Nitrogen
Comp. bank name	Argon	Carbon Dioxide	Nitrogen
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	208	2	131
Component phase	Mixed	Mixed	Mixed
Component quantity	0,86	5	73,51
Component number	4	5	
Component name	Oxygen	Water (IAPWS 1997)	
Comp. bank name	Oxygen	Water (IAPWS 1997)	
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR	
Component code	201	1	
Component phase	Mixed	Mixed	
Component quantity	9,7	10,93	

Cold Fluid Property Data

Fluid name	PVS
Physical property method	Component by component properties
Heat release method	Program calculated
Flash type	Integral
Quantity units	Weight
Temperature interpolation option	Program
Number of components	2

Cold Fluid Component Data

Component number	1	2
Component name	Air	Water (IAPWS 1997)
Comp. bank name	Air	Water (IAPWS 1997)
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	3	1
Component phase	Vapor	Vapor
Component quantity	74,64	25,36

Control Name Data

Case name	Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak
-----------	---

Released to the following organization:

VUT Brno
VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 15:41 SN: 1600211661

SI Units

 Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 2 by M. Jonak
 Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Control Methods Data

Shellside friction factor method	Commercial
Tubeside friction factor method	Commercial
Pure component condensation	No
Condensing correlation	HTRI Proration
Mole fraction inerts	0
Momentum exclusion	0 %
Pure component boiling	No
Check film boiling	Yes
Nucleate boiling method	Physical property/theoretical boiling range
Component boiling method	Nucleate and convective
High-fin heat transfer method	HTRI
High-fin pressure drop method	HTRI
Single increment method	No
Force phase separation in tube headers	No

Control Safety Data

Hot fluid/shellside film coefficient multiplier	1
Hot fluid/shellside friction factor multiplier	1
Cold fluid/tubeside film coefficient multiplier	1
Cold fluid/tubeside friction factor multiplier	1
Cold fluid fraction of critical flux for film boiling	1

For
 education
 use only

Výsledky alternativy 3

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 16:02 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

See Data Check Messages Report for Warning Messages.
See Runtime Message Report for Warning Messages.

Process Conditions		Outside		Tubeside	
Fluid name	SPALINY			PVS	
Fluid condition			Sens. Gas		Sens. Gas
Total flow rate	(kg/s)		2,517		3,175
Weight fraction vapor, In/Out		1,000	1,000	1,000	1,000
Temperature, In/Out	(Deg C)	1200,00	307,49	220,30	855,37
Skin temperature, Min/Max	(Deg C)	252,71	907,71	252,57	906,42
Pressure, Inlet/Outlet	(kPa)	101,326	101,242	610,909	599,744
Pressure drop, Total/Allow	(kPa) (kPa)	0,085	0,000	11,165	0,000
Midpoint velocity	(m/s)		3,54		5,88
- In/Out	(m/s)			4,32	49,58
Heat transfer safety factor	(--)		1		1
Fouling	(m2-K/W)		0,000000		0,000000
Exchanger Performance					
Outside film coef	(W/m2-K)	42,72	Actual U	(W/m2-K)	26,603
Tubeside film coef	(W/m2-K)	78,80	Required U	(W/m2-K)	26,614
Clean coef	(W/m2-K)	26,603	Area	(m2)	545,916
Hot regime		Sens. Gas	Overdesign	(%)	-0,04
Cold regime		Sens. Gas	Tube Geometry		
EMTD	(Deg C)	190,2	Tube type	Plain	
Duty	(MegaWatts)	2,763	Tube OD	(mm)	60,300
Unit Geometry			Tube ID	(mm)	54,500
Bays in parallel per unit		1	Length	(m)	3,260
Bundles parallel per bay		1	Area ratio(out/in)	(--)	1,10642
Extended area	(m2)	545,916	Layout	Staggered	
Bare area	(m2)	545,916	Trans pitch	(mm)	88,000
Bundle width	(m)	1,891	Long pitch	(mm)	80,000
Nozzle		Inlet	Outlet		
Number	(--)	1	1	Number of passes	(--)
Diameter	(mm)	444,50	444,50	Number of rows	(--)
Velocity	(m/s)	5,45	12,75	Tubecount	(--)
R-V-SQ	(kg/m-s2)	111,57	260,88	Tubecount Odd/Even	(--)
Pressure drop	(kPa)	0,061	0,091	Tube material	Not in data bank
Fan Geometry			Fin Geometry		
No/bay	(--)		0	Type	None
Fan ring type				Fins/length	fin/meter
Diameter	(m)		0,000	Fin root	mm
Ratio, Fan/bundle face area	(--)			Height	mm
Driver power	(kW)		0,00	Base thickness	mm
Tip clearance	(mm)		0,000	Over fin	mm
Efficiency	(%)		0	Efficiency	(%)
Airside Velocities			Thermal Resistance; %		
Face	(m/s)	Actual	Standard	Air	61,30
Maximum	(m/s)	1,75		Tube	38,48
Flow	(100 m3/min)	4,23		Fouling	0,00
Velocity pressure	(Pa)	6,471		Metal	0,23
Bundle pressure drop	(Pa)	0,00		Bond	0,00
		84,58		Airside Pressure Drop; %	
Bundle	100,00			Louvers	0,00
Ground clearance	0,00	Fan guard	0,00	Hail screen	0,00
Fan ring	0,00	Fan area blockage	0,00	Steam coil	0,00

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 16:02 SN: 1600211661

SI Units

 Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak :
 Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Process Data		Outside		Tubeside		
Fluid name	SPALINY		PVS			
Fluid condition			Sens. Gas		Sens. Gas	
Total flow rate	(kg/s)		2,517		3,175	
Weight fraction vapor, In/Out	(--)	1,000	1,000	1,000	1,000	
Temperature, In/Out	(Deg C)	1200,00	307,49	220,30	855,37	
Skin temperature, Min/Max	(Deg C)	252,71	907,71	252,57	906,42	
Wall temperature, Min/Max	(Deg C)	252,71	907,71	252,57	906,42	
Pressure, In/Out	(kPa)	101,326	101,242	610,909	599,744	
Pressure drop, Total/Allowed	(kPa)	0,085	0,000			
Tube pressure drop, Total/Allowed	(kPa)			11,165	0,000	
Velocity - Midpoint	(m/s)	3,54		5,88		
- In/Out	(m/s)			4,32	49,58	
Film coefficient, Bare/Extended	(W/m2-K)	42,72	42,72	78,80		
Mole fraction inert	(--)					
Heat transfer safety factor	(--)		1		1	
Fouling resistance	(m2-K/W)		0,000000		0,000000	
Overall Performance Data						
Overall coef, Design/Clean/Actual	(W/m2-K)	26,614	/	26,603	/	26,603
Heat duty, Calculated/Specified	(MegaWatts)	2,7634	/	0,0000		
Effective mean temperature difference	(Deg C)	190,19				

See Runtime Message Report for Warning Messages.

Unit and Bundle Construction Information					
Bays in parallel/unit	(--)	1	Bundles in parallel/bay		1
Extended area/unit	(m2)	545,916	Bare area/unit	(m2)	545,916
Extended area/bundle	(m2)	545,916	Bare area/bundle	(m2)	545,916
Tubepasses/Tuberows	(--)	12 / 46	Number of tubes/bundle	(--)	1056
Tubecount, Odd rows/Even rows	(--)	14 / 14	Edge seals	(--)	Yes
Bundle width	(m)	1,891	Fan guard	(--)	No
Clearance	(mm)	9,525	Louvers	(--)	No
Header depth	(mm)	101,600	Steam coil	(--)	No
Header Box			Hail screen	(--)	No
- Plate thickness	(mm)	104,775	<i>Tube support information</i>		
- Tubesheet thickness	(mm)	117,475	- Number	(--)	1
Plenum type		Box	- Width	(mm)	25,400
Weight/Bundle	(kg)	40231	Orientation (from horiz.)	(deg)	0,00
Structure weight	(kg)	0	Tubeside volume	(L)	7994,3
Total weight, Dry / Wet	(kg)	40231 /			
Ladder/walkway weight	(kg)	0	Cost Factor	(--)	235,874

Tube Information
See Next Page For Tube Information.

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 16:02 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Straight length	(m)	3,260				
Unfinned length	(mm)	0,000				
Unheated length	(mm)	260,351				
Tube form	(--)	Straight				
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5
Transverse pitch	(mm)	62,000	48,000	88,000	88,000	88,000
Longitudinal pitch	(mm)	54,000	42,000	80,000	80,000	80,000
Outside diameter	(mm)	33,700	33,700	60,300	60,300	60,300
Inside diameter	(mm)	29,100	29,100	54,500	54,500	54,500
Tube type	(--)	Plain	Plain	Plain	Plain	Plain
Area ratio (out/in)	(--)	1,15808	1,15808	1,10642	1,10642	1,10642
Over fin diameter	(mm)					
Area ratio (fin/bare)	(--)					
Fins per unit length	(fin/meter)					
Fin root diameter	(mm)					
Fin height	(mm)					
Fin thickness at base	(mm)					
Fin thickness at tip	(mm)					
Fin type	(--)					
Fin efficiency	(%)					
Split segment height	(mm)					
Split segment width	(mm)					
Rectangular fin height	(mm)					
Rectangular fin width	(mm)					
Wall thickness (finned)	(mm)					
Number of stud rings	(stud/meter)					
Number of studs/ring	(--)					
Stud length	(mm)					
Stud diameter	(mm)					
Tube material		Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank
Fin material		Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank	Not in data bank
Internal tube type		None	None	None	None	None

For
educational
use only

Released to the following organization:

 VUT Brno
 VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 16:02 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Inlet Airside Velocities		Actual	Standard
Face velocity	(m/s)	1,75	
Maximum velocity	(m/s)	4,23	
Volumetric flow	(100 m3/min)	6,471	
Maximum mass velocity	(kg/s-m2)	0,988	
Air humidity	(%)		
Volumetric flow per fan at fan inlet	(100 m3/min)	0,000	
Velocity at fan inlet	(m/s)	0,00	

Fan Description and Fan Power			
Number of fans per bay		(-)	0
Diameter		(m)	0,000
Tip clearance		(mm)	0,000
Ratio, fan area to bay face area		(-)	
Fan ring type		(-)	
Percent open area	- in fan guard	(%)	0
	- in hail screen	(%)	0
Ratio, ground clearance to fan diameter		(-)	
Percent blockage, other obstruction		(%)	0
Bundle pressure drop/ Velocity pressure		(Pa)	84,58 / 0,00
Fan and drive efficiency		(%)	0
Motor power per fan-design air temperature		(kW)	0,00
Motor power per fan-minimum air temperature		(kW)	0,00
Ambient temperature, maximum / minimum		(Deg C)	/

Two-Phase Parameters					
Method	Inlet	Center	Outlet	Mix F	

Heat Transfer and Pressure Drop Parameters				Tubeside	Outside
Midpoint j-factor			(-)		0,0155
Heat transfer	Wall Correction		(-)	0,9523	1,0000
	Row Correction		(-)		1,0568
Midpoint f-factor			(-)	0,0072	0,1372
Pressure drop	Wall Correction		(-)	0,9531	1,0000
	Row Correction		(-)		0,0000
Reynolds number	Inlet		(-)	37137	633
	Midpoint		(-)	29232	2380
	Outlet		(-)	52419	3086
Fouling layer thickness			(mm)	0,000	0,000
Input minimum velocity			(m/s)		
Input maximum velocity			(m/s)		
Input minimum wall temperature			(Deg C)		
Input maximum wall temperature			(Deg C)		

Thermal Resistance (Percent)					Over Design
Air	Tube	Fouling	Metal	Bond	
					-0,04

Airside Pressure Drop (Percent)			
Across bundle	100,00	Other obstruction	0,00
Fan ring	0,00	Steam coil	0,00
Fan guard	0,00	Louvers	0,00
Ground clearance	0,00		

Tube Nozzle (Perpendicular)		Inlet	Outlet
Number of nozzles	(-)	1	1
Diameter	(mm)	444,50	444,50
Velocity	(m/s)	5,45	12,75
Nozzle R-V-SQ	(kg/m-s2)	111,57	260,88
Pressure drop	(kPa)	0,061	0,091

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Mean Metal Temperatures
Mean tube metal temperature in each tubepass, (Deg C)

Tuberow	Tubepass	Inside	Outside	Radial
1	1	258,8	259,0	258,9
2	1	262,2	262,4	262,3
3	1	265,9	266,1	266,0
4	1	270,1	270,3	270,2
5	2	285,8	285,9	285,9
6	2	289,7	289,9	289,8
7	2	294,0	294,2	294,1
8	2	298,8	299,0	298,9
9	3	316,7	316,8	316,8
10	3	321,3	321,4	321,4
11	3	326,3	326,5	326,4
12	3	331,8	332,1	332,0
13	4	352,0	352,2	352,1
14	4	357,3	357,5	357,4
15	4	363,2	363,4	363,3
16	4	369,7	369,9	369,8
17	5	392,6	392,9	392,8
18	5	398,9	399,1	399,0
19	5	405,8	406,0	405,9
20	5	413,4	413,6	413,5
21	6	439,6	439,9	439,7
22	6	446,7	447,0	446,9
23	6	454,6	454,9	454,7
24	6	463,3	463,6	463,5
25	7	493,6	493,9	493,7
26	7	501,9	502,3	502,1
27	7	511,2	511,6	511,4
28	7	521,4	521,9	521,7
29	8	556,1	556,5	556,3
30	8	565,9	566,4	566,2
31	8	576,8	577,3	577,1
32	8	588,9	589,5	589,2
33	9	628,4	628,9	628,7
34	9	640,0	640,6	640,3
35	9	652,8	653,5	653,2
36	9	667,2	667,9	667,5
37	10	713,0	713,7	713,4
38	10	726,7	727,4	727,0
39	10	741,9	742,6	742,3
40	10	758,8	759,6	759,2
41	11	793,0	793,8	793,4
42	11	811,8	812,7	812,3
43	11	833,4	834,5	834,0
44	11	858,3	859,5	858,9
45	12	871,1	872,3	871,7
46	12	882,0	883,4	882,7

Released to the following organization:

VUT Brno
VUT Brno

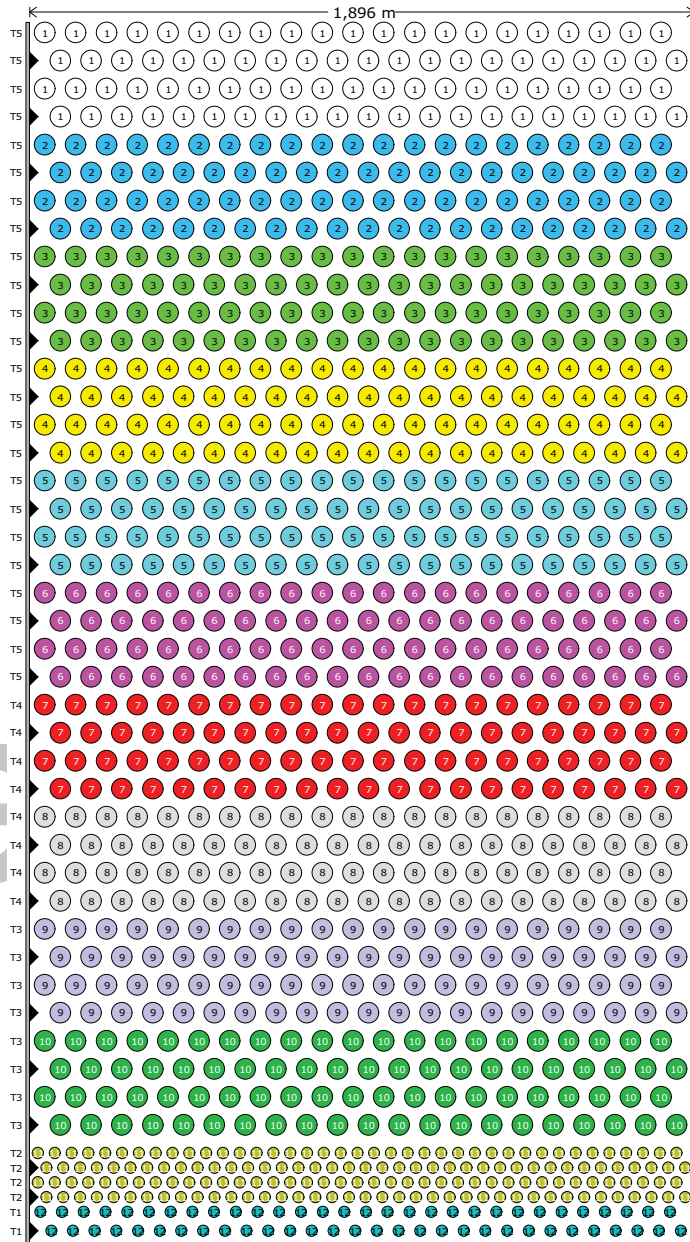
Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 16:02 SN: 1600211661

SI Units

Problem-

Case-Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak :

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow



Name	Type	Outer Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Transverse Pitch (mm)	Longitudinal Pitch (mm)	Fin Height (mm)
1 Sekce 1	Plain	33,700	2,300	62,000	54,000	n/a
2 Sekce 2	Plain	33,700	2,300	48,000	42,000	n/a
3 Sekce 3	Plain	60,300	2,900	88,000	80,000	n/a
4 Sekce 4	Plain	60,300	2,900	88,000	80,000	n/a
5 Sekce 5	Plain	60,300	2,900	88,000	80,000	n/a

Bundle Information

Bundle width 1,896 m
 Number of tube rows 46
 Number of tubes 1056
 Minimum wall clearance
 Left 7,150 mm
 Right 7,150 mm
 Number of tubes per pass

- Tube pass # 1: 84
- Tube pass # 2: 84
- Tube pass # 3: 84
- Tube pass # 4: 84
- Tube pass # 5: 84
- Tube pass # 6: 84
- Tube pass # 7: 84
- Tube pass # 8: 84
- Tube pass # 9: 84
- Tube pass # 10: 84
- Tube pass # 11: 156
- Tube pass # 12: 60

Row	Number of Tubes	Tube Type	Wall Clearance (mm)	Row	Number of Tubes	Tube Type	Wall Clearance (mm)
1	21	Sekce 5	13,500	24	21	Sekce 5	57,500
2	21	Sekce 5	57,500	25	21	Sekce 4	13,500
3	21	Sekce 5	13,500	26	21	Sekce 4	57,500
4	21	Sekce 5	57,500	27	21	Sekce 4	13,500
5	21	Sekce 5	13,500	28	21	Sekce 4	57,500
6	21	Sekce 5	57,500	29	21	Sekce 4	13,500
7	21	Sekce 5	13,500	30	21	Sekce 4	57,500
8	21	Sekce 5	57,500	31	21	Sekce 4	13,500
9	21	Sekce 5	13,500	32	21	Sekce 4	57,500
10	21	Sekce 5	57,500	33	21	Sekce 3	13,500
11	21	Sekce 5	13,500	34	21	Sekce 3	57,500
12	21	Sekce 5	57,500	35	21	Sekce 3	13,500
13	21	Sekce 5	13,500	36	21	Sekce 3	57,500
14	21	Sekce 5	57,500	37	21	Sekce 3	13,500
15	21	Sekce 5	13,500	38	21	Sekce 3	57,500
16	21	Sekce 5	57,500	39	21	Sekce 3	13,500
17	21	Sekce 5	13,500	40	21	Sekce 3	57,500
18	21	Sekce 5	57,500	41	39	Sekce 2	7,150
19	21	Sekce 5	13,500	42	39	Sekce 2	31,150
20	21	Sekce 5	57,500	43	39	Sekce 2	7,150
21	21	Sekce 5	13,500	44	39	Sekce 2	31,150
22	21	Sekce 5	57,500	45	30	Sekce 1	14,150
23	21	Sekce 5	13,500	46	30	Sekce 1	45,150

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 16:02 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Unit Data

Run mode	Simulation
Unit type	Economizer
Hot fluid location	Shellside
Tube bundle angle (relative to horizontal)	0,00 deg
Number of bays in parallel per unit	1
Number of bundles in parallel per bay	1
Number of services	1
Number of tubepasses per bundle	12
Tubeside nozzle distribution	Radial
Tubeside nozzle distribution	Perpendicular
Tubeside nozzle impingement device	None
Inlet inside diameter	444,501 mm
Number of inlet nozzles per bundle	1
Outlet inside diameter	444,501 mm
Number of outlet nozzles per bundle	1

Fans Data

Number of fans per bay	0
Fan arrangement	Forced draft
Total combined fan and drive efficiency	65 %
Fan manufacturer	Unspecified
Fan ring type (inlet)	Straight

Optional Data

Steam coil present	No
Louvers present	No
Header box depth	101,600 mm
Plenum chamber type	Box
Number of intermediate tube supports	Program set

Bundle Data

Number of tubepasses	12
Number of tuberows	46
Number of tubes in odd numbered row	14
Number of tubes in even numbered row	14
Tube layout	Staggered
Tube form	Straight
Bundle width	1,891 m
Clearance, wall to first tube	9,525 mm
Bypass seal half tubes	Yes
Default bundle type	User defined
Tube length	3,260 m

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 16:02 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Tubes Data**Sekce 1 Data**

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	28,000 W/m-C
Tube outside diameter	33,700 mm
Tube wall thickness	2,300 mm
Tube longitudinal pitch	54,000 mm
Tube pitch	62,000 mm

Sekce 2 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	28,000 W/m-C
Tube outside diameter	33,700 mm
Tube wall thickness	2,300 mm
Tube longitudinal pitch	42,000 mm
Tube pitch	48,000 mm

Sekce 3 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	30,000 W/m-C
Tube outside diameter	60,300 mm
Tube wall thickness	2,900 mm
Tube longitudinal pitch	80,000 mm
Tube pitch	88,000 mm

Sekce 4 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	35,000 W/m-C
Tube outside diameter	60,300 mm
Tube wall thickness	2,900 mm
Tube longitudinal pitch	80,000 mm
Tube pitch	88,000 mm

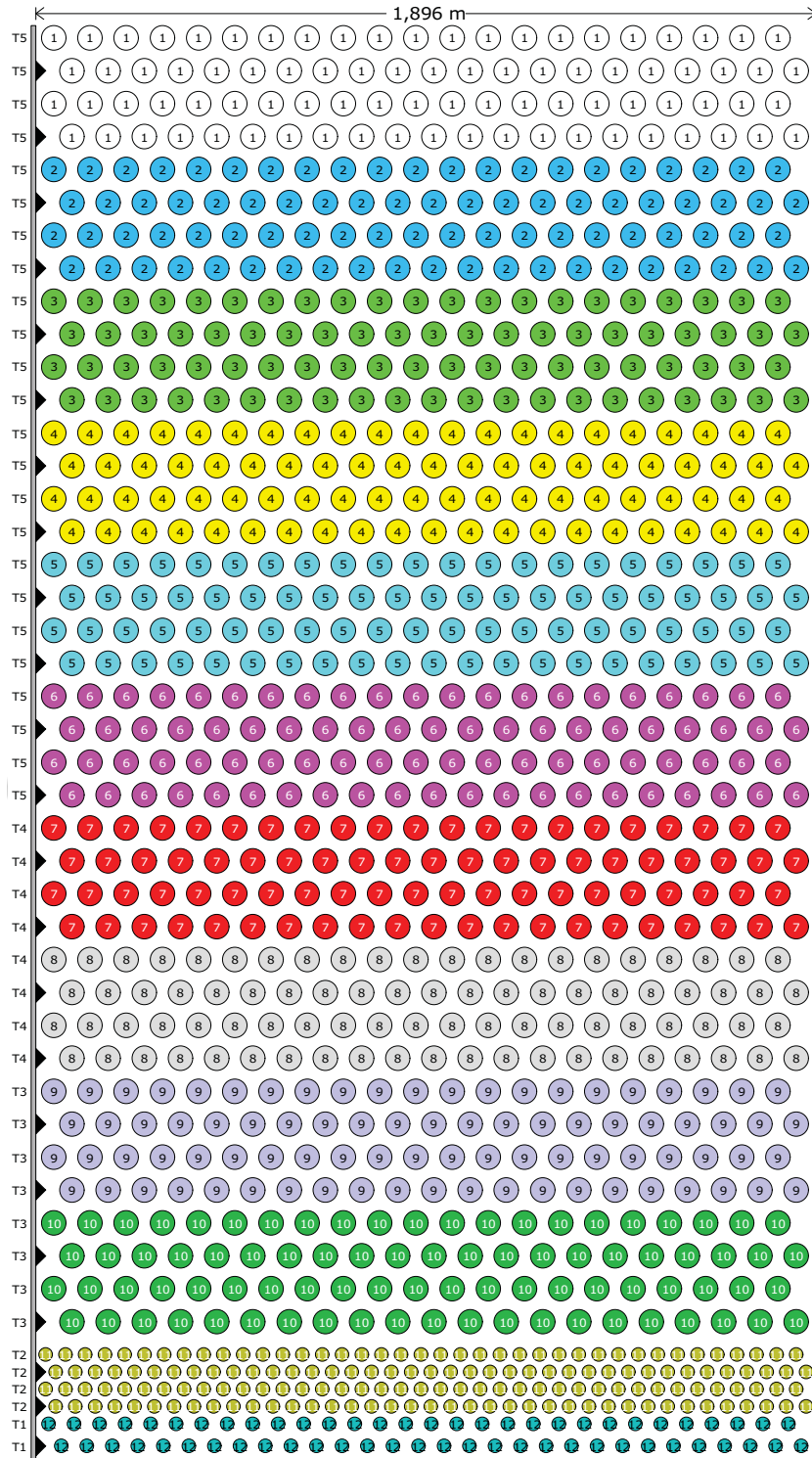
Sekce 5 Data

Tube type	Plain
Tube material	Not in data bank
Tube material thermal conductivity	40,000 W/m-C
Tube outside diameter	60,300 mm
Tube wall thickness	2,900 mm
Tube longitudinal pitch	80,000 mm
Tube pitch	88,000 mm

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Bundle Layout Data



Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 16:02 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Bundle Layout Data (cont.)

Tube Type	Row	Tube Wall Clr.	
		Count	mm
Sekce 5	1-1	21	13,500
Sekce 5	3-2	21	57,500
Sekce 5	4-3	21	13,500
Sekce 5	5-4	21	57,500
Sekce 5	6-5	21	13,500
Sekce 5	7-6	21	57,500
Sekce 5	8-7	21	13,500
Sekce 5	9-8	21	57,500
Sekce 5	10-9	21	13,500
Sekce 5	11-10	21	57,500
Sekce 5	12-11	21	13,500
Sekce 5	13-12	21	57,500
Sekce 5	14-13	21	13,500
Sekce 5	15-14	21	57,500
Sekce 5	16-15	21	13,500
Sekce 5	17-16	21	57,500
Sekce 5	18-17	21	13,500
Sekce 5	19-18	21	57,500
Sekce 5	20-19	21	13,500
Sekce 5	21-20	21	57,500
Sekce 5	22-21	21	13,500
Sekce 5	23-22	21	57,500
Sekce 5	24-23	21	13,500
Sekce 5	25-24	21	57,500
Sekce 4	26-25	21	13,500
Sekce 4	27-26	21	57,500
Sekce 4	28-27	21	13,500
Sekce 4	29-28	21	57,500
Sekce 4	30-29	21	13,500
Sekce 4	31-30	21	57,500
Sekce 4	32-31	21	13,500
Sekce 4	33-32	21	57,500
Sekce 3	34-33	21	13,500
Sekce 3	35-34	21	57,500
Sekce 3	36-35	21	13,500
Sekce 3	37-36	21	57,500
Sekce 3	38-37	21	13,500
Sekce 3	39-38	21	57,500
Sekce 3	40-39	21	13,500
Sekce 3	41-40	21	57,500
Sekce 2	42-41	39	7,150
Sekce 2	43-42	39	31,150
Sekce 2	44-43	39	7,150
Sekce 2	45-44	39	31,150
Sekce 1	46-45	30	14,150
Sekce 1	47-46	30	45,150

For
educational
use only



Input Reprint

Released to the following organization:
VUT Brno
VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 16:02 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak
Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Process Conditions Data

	Hot Fluid	Cold Fluid
Phase condition	Sensible gas	Sensible gas
Flow rate	2,5170	3,1750 kg/s
Inlet vapor fraction	1	1
Outlet vapor fraction	1	1
Inlet temperature	1200,00	220,30 C
Inlet Pressure	101,325	610,900 kPa
Duty multiplier		1

Hot Fluid Property Data

Fluid name	SPALINY
Physical property method	Component by component properties
Heat release method	Program calculated
Flash type	Integral
Quantity units	Moles
Temperature interpolation option	Program
Number of components	5

Hot Fluid Component Data

Component number	1	2	3
Component name	Argon	Carbon Dioxide	Nitrogen
Comp. bank name	Argon	Carbon Dioxide	Nitrogen
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	208	2	131
Component phase	Mixed	Mixed	Mixed
Component quantity	0,86	5	73,51
Component number	4	5	
Component name	Oxygen	Water (IAPWS 1997)	
Comp. bank name	Oxygen	Water (IAPWS 1997)	
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR	
Component code	201	1	
Component phase	Mixed	Mixed	
Component quantity	9,7	10,93	

Cold Fluid Property Data

Fluid name	PVS
Physical property method	Component by component properties
Heat release method	Program calculated
Flash type	Integral
Quantity units	Weight
Temperature interpolation option	Program
Number of components	2



Input Reprint

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

Xace E Ver. 5.00 13.5.2010 16:02 SN: 1600211661

SI Units

Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak

Simulation-Horizontal economizer countercurrent to crossflow

Cold Fluid Component Data

Component number	1	2
Component name	Air	Water (IAPWS 1997)
Comp. bank name	Air	Water (IAPWS 1997)
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	3	1
Component phase	Vapor	Mixed
Component quantity	74,64	25,36

Control Name Data

Case name Vysokoteplotni aplikace 1_Kontrola varianty 3 by M. Jonak

Control Methods Data

Shellside friction factor method	Commercial
Tubeside friction factor method	Commercial
Pure component condensation	No
Condensing correlation	HTRI Proration
Mole fraction inerts	0
Momentum exclusion	0 %
Pure component boiling	No
Check film boiling	Yes
Nucleate boiling method	Physical property/theoretical boiling range
Component boiling method	Nucleate and convective
High-fin heat transfer method	HTRI
High-fin pressure drop method	HTRI
Single increment method	No
Force phase separation in tube headers	No

Control Safety Data

Hot fluid/shellside film coefficient multiplier	1
Hot fluid/shellside friction factor multiplier	1
Cold fluid/tubeside film coefficient multiplier	1
Cold fluid/tubeside friction factor multiplier	1
Cold fluid fraction of critical flux for film boiling	1

Příloha P4

**Detailní výsledky návrhového výpočtu dvou variant výměníku CS-AMH
určených pro vysokoteplotní aplikaci 2**

Výsledky varianty 1



Output Summary

Page 1

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

XistS Ver. 5.00 25.5.2010 12:46 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami spaliny vni_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

See Data Check Messages Report for Warning Messages.

See Runtime Message Report for Warning Messages.

Process Conditions		Hot Shellside		Cold Tubeside	
Fluid name	Spaliny			PVS	
Flow rate	(kg/s)		1,2400		1,2910
Inlet/Outlet Y	(Wt. frac vap.)	1,000	1,000	1,000	1,000
Inlet/Outlet T	(Deg C)	600,00	140,25	98,90	529,80
Inlet P/Avg	(kPa)	107,002		430,606	429,619
dP/Allow.	(kPa)	3,934	4,000	1,975	215,303
Fouling	(m2-K/W)		0,000000		0,000000
Exchanger Performance					
Shell h	(W/m2-K)	92,15	Actual U	(W/m2-K)	10,26
Tube h	(W/m2-K)	14,44	Required U	(W/m2-K)	9,89
Hot regime	(--)	Sens. Gas	Duty	(MegaWatts)	0,6569
Cold regime	(--)	Sens. Gas	Area	(m2)	1360,13
EMTD	(Deg C)	48,8	Overdesign	(%)	3,73
Shell Geometry			Baffle Geometry		
TEMA type	(--)	AES	Baffle type	(--)	Single-Seg.
Shell ID	(mm)	800,000	Baffle cut	(Pct Dia.)	21,28
Series	(--)	2	Baffle orientation	(--)	Perpend.
Parallel	(--)	3	Central spacing	(mm)	388,083
Orientation	(deg)	0,00	Crosspasses	(--)	9
Tube Geometry			Nozzles		
Tube type	(--)	Plain	Shell inlet	(mm)	307,087
Tube OD	(mm)	15,000	Shell outlet	(mm)	258,877
Length	(m)	4,000	Inlet height	(mm)	21,269
Pitch ratio	(--)	1,2500	Outlet height	(mm)	21,269
Layout	(deg)	45	Tube inlet	(mm)	102,261
Tubecount	(--)	1234	Tube outlet	(mm)	102,261
Tube Pass	(--)	1			
Thermal Resistance; %		Velocities; m/s		Flow Fractions	
Shell	9,11	Shellside	5,06	A	0.255
Tube	90,85	Tubeside	1,30	B	0.511
Fouling	0,00	Crossflow	7,69	C	0.083
Metal	0,039	Window	15,00	E	0.151
				F	0.000

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

XistS Ver. 5.00 25.5.2010 12:46 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny vnì_1x1_by M. Jonak

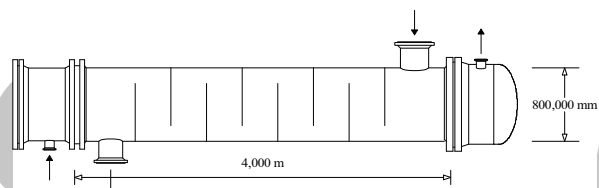
Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Process Data		Hot Shellside		Cold Tubeside	
Fluid name	Spaliny			PVS	
Fluid condition			Sens. Gas		Sens. Gas
Total flow rate	(kg/s)		1,2400		1,2910
Weight fraction vapor, In/Out	(--)	1,000	1,000	1,000	1,000
Temperature, In/Out	(Deg C)	600,00	140,25	98,90	529,80
Temperature, Average/Skin	(Deg C)	370,1	369,31	314,4	369,28
Wall temperature, Min/Max	(Deg C)				
Pressure, In/Average	(kPa)	107,002		430,606	429,619
Pressure drop, Total/Allowed	(kPa)	3,934	4,000	1,975	
Velocity, Mid/Max allow	(m/s)	5,06		1,30	
Mole fraction inert	(--)				
Average film coef.	(W/m2-K)		92,15		14,44
Heat transfer safety factor	(--)		1,000		1,000
Fouling resistance	(m2-K/W)		0,000000		0,000000

Overall Performance Data

Overall coef., Reqd/Clean/Actual	(W/m2-K)	9,89 /	10,26 /	10,26
Heat duty, Calculated/Specified	(MegaWatts)	0,6569 /		
Effective overall temperature difference	(Deg C)	48,8		
EMTD = (MTD) * (DELTA) * (F/G/H)	(Deg C)	53,24 *	0,9170 *	

See Runtime Messages Report for warnings.
Exchanger Fluid Volumes

 Approximate shellside (L)
 Approximate tubeside (L)

Shell Construction Information

TEMA shell type	AES	Shell ID	(mm)	800,000
Shells Series	2 Parallel 3	Total area	(m2)	1395,58
Passes Shell	1 Tube 1	Eff. area	(m2/shell)	226,689
Shell orientation angle (deg)	0,00			
Impingement present	No			
Pairs seal strips	6	Passlane seal rods (mm)	No. 0	
Shell expansion joint	No	Rear head support plate	No	
Weight estimation Wet/Dry/Bundle		7593,3 /	5468,1 /	2753,3 (kg/shell)

Baffle Information

Type	Perpend. Single-Seg.	Baffle cut (% dia)	21,28
Crosspasses/shellpass	9	No. (Pct Area)	(mm) to C.L
Central spacing	(mm) 388,083	1	17,28 229,780
Inlet spacing	(mm) 648,600	2	0,00 0,000
Outlet spacing	(mm) 533,130		
Baffle thickness	(mm) 7,938		

Tube Information

Tube type	Plain	Tubecount per shell	1234
Overall length	(m) 4,000	Pct tubes removed (none)	
Effective length	(m) 3,898	Outside diameter	(mm) 15,000
Total tubesheet	(mm) 101,600	Wall thickness	(mm) 1,500
Area ratio	(out/in) 1,2500	Pitch (mm)	18,7500 Ratio 1,2500
Tube metal	Carbon steel	Tube pattern (deg)	45

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

XistS Ver. 5.00 25.5.2010 12:46 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny vni_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Shellside Performance

Nom vel, X-flow/window 7,69 / 15,00

Flow fractions for heat transfer 0,657

A=0,2548 B=0,5112 C=0,0831 E=0,1509 F=0,0000

Shellside Heat Transfer Corrections

Total	Beta	Gamma	End	Fin
0,971	0,907	1,071	0,948	1,000

Pressure Drops (Percent of Total)

Cross	Window	Ends	Nozzle	Shell	Tube
49.05	28.07	9.22	Inlet	7.56	40.52
MOMENTUM		0.00	Outlet	6.11	55.95

Two-Phase Parameters

Method	Inlet	Center	Outlet	Mix F
--------	-------	--------	--------	-------

H. T. Parameters

	Shell	Tube
Overall wall correction	1,000	0,000
Midpoint Prandtl no.	0,00	0,00
Midpoint Reynolds no.		
Bundle inlet Reynolds no.		
Bundle outlet Reynolds no.		
Fouling layer (mm)		

Thermal Resistance

Shell	Tube	Fouling	Metal	Over Des
9,11	90,85	0,00	0,039	3,73
Total fouling resistance				0,00000
Differential resistance				0,00365

Shell Nozzles

Inlet at channel end-No	Inlet	Outlet	Liquid Outlet
Number at each position	1	1	0
Diameter (mm)	307,087	258,877	
Velocity (m/s)	13,15	9,09	
Pressure drop (kPa)	0,297	0,240	
Height under nozzle (mm)	21,269	21,269	
Nozzle R-V-SQ (kg/m-s2)	73,39	71,38	
Shell ent. (kg/m-s2)	308,69	247,91	

Tube Nozzle

	Inlet	Outlet	Liquid Outlet
	RADIAL		
Diameter (mm)	102,261	102,261	
Velocity (m/s)	13,88	30,12	
Pressure drop (kPa)	0,800	1,105	
Nozzle R-V-SQ (kg/m-s2)	727,40	1578,31	

Annular Distributor

	Inlet	Outlet
Length (mm)		
Height (mm)		
Slot area (mm2)		

Diametral Clearances (mm)

Baffle-to-shell	Bundle-to-shell	Tube-to-baffle
4,7625	42,0629	0,7938



Input Reprint

Page 6

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

XistS Ver. 5.00 25.5.2010 12:46 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny vni_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Shell Data

Service type	Generic Shell and Tube
TEMA type	AES
Run mode	Design
Hot fluid location	Shellside
Number of shells in series	1
Number of shells in parallel	1
Shell inside diameter	800,000 mm
Flow in 1st tubepass	Countercurrent
Train flow direction	Countercurrent

Reboiler Data

Reboiler type	No piping specified
Inlet pressure location	Inlet nozzle

Tube Data

Tube type	Plain
Tube outside diameter	15,000 mm
Tube wall thickness	1,500 mm
Tube pitch	18,750 mm
Tube pitch ratio	1,250
Tubepasses per shell	1
Tube pattern	45 degrees
Tube count method	Rigorous
Tube length	4,000 m
Tube material	Carbon steel

Tubepass Arrangement Data

Force symmetric layout	No
Force cleaning lanes	No
Tubes to remove for tie rods	Calculated

Baffle Data

Baffle type	Single segmental
Baffle orientation	Program sets
Variable baffle spacing	No
Window cut from baffles	No

Clearance Data

Number of seal strip pairs	Calculated
Baffle clearance type	TEMA
Block A stream	No
Block E stream	No
Block F stream	No
Number of passlane seal rods	Calculated



Input Reprint

Page 7

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

XistS Ver. 5.00 25.5.2010 12:46 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny vni_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Nozzle Data

Number of shellside inlet nozzles	1
Number of shellside outlet nozzles	1
Number of tubeside inlet nozzles	1
Number of tubeside outlet nozzles	1
Radial position on shell inlet nozzle	Program decides
Longitudinal position on shell of inlet nozzle	At rear head
Radial position on shell outlet nozzle	Program decides
Tubeside entry type	Radial
Tubeside inlet position	Front head
Tubeside exit type	Same as inlet
Front head location	Left

Impingement Data

Impingement device present	If required by TEMA
Impingement type	Circular plate

Optional Geometry Data

Small exchanger	No
Tubesheet type	Single
Shell expansion joint	No
Floating head support type	None
Insulated longitudinal baffle	No

Process Conditions Data

	Hot Fluid	Cold Fluid
Phase condition	Sensible gas	Sensible gas
Flow rate	1,2400	1,2910 kg/s
Inlet vapor fraction	1	1
Outlet vapor fraction	1	1
Inlet temperature	600,00	98,90 C
Outlet temperature		529,80 C
Inlet Pressure	107,000	430,600 kPa
Allowable pressure drop	4,000	kPa
Duty multiplier		1

Hot Fluid Property Data

Fluid name	Spaliny
Physical property method	Component by component properties
Heat release method	Program calculated
Flash type	Integral
Quantity units	Weight
Temperature interpolation option	Program
Number of components	6



Input Reprint

Released to the following organization:
VUT Brno
VUT Brno

XistS Ver. 5.00 25.5.2010 12:46 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny vni_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Hot Fluid Component Data

Component number	1	2	3
Component name	Carbon Dioxide	Nitrogen	Water (IAPWS 1997)
Comp. bank name	Carbon Dioxide	Nitrogen	Water (IAPWS 1997)
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	2	131	1
Component phase	Mixed	Mixed	Mixed
Component quantity	14,98	68,18	7,789
Component number	4	5	6
Component name	Sulfur Dioxide	Argon	Oxygen
Comp. bank name	Sulfur Dioxide	Argon	Oxygen
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	120	208	201
Component phase	Mixed	Mixed	Mixed
Component quantity	0,572	1,144	7,335

Cold Fluid Property Data

Fluid name	PVS
Physical property method	Component by component properties
Heat release method	Program calculated
Flash type	Integral
Quantity units	Weight
Temperature interpolation option	Program
Number of components	2

Cold Fluid Component Data

Component number	1	2
Component name	Water (IAPWS 1997)	Air
Comp. bank name	Water (IAPWS 1997)	Air
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	1	3
Component phase	Mixed	Vapor
Component quantity	11,81	88,19

Design Geometry Data

	Minimum	Maximum	Step Size
Vary shell diameter	750,000	850,000	50,000 mm
Vary tube length	3,000	5,000	1,000 m

Design Options Data

End baffle spacing equal to central	Program decides
Minimize number of baffles	No
Crosspass design	Program control
Tube pass design sequence	Even 2,4,6

Control Name Data

Case name	TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny vni_1x1_by M. Jonak
-----------	--

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

XistS Ver. 5.00 25.5.2010 12:46 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny vni_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Control Methods Data

Shellside friction factor method	Commercial
Tubeside friction factor method	Commercial
Pure longitudinal flow	No
Pure component condensation	No
Condensing correlation	HTRI Proration
Mole fraction inerts	0
Momentum exclusion	0 %
Pure component boiling	No
Check film boiling	Yes
Nucleate boiling method	Physical property/theoretical boiling range
Component boiling method	Nucleate and convective

Control Safety Data

Hot fluid/shellside film coefficient multiplier	1
Hot fluid/shellside friction factor multiplier	1
Cold fluid/tubeside film coefficient multiplier	1
Cold fluid/tubeside friction factor multiplier	1
Cold fluid fraction of critical flux for film boiling	1

Control User-Defined Methods Data

Add non-nucleate boiling	Yes
--------------------------	-----

Control Vibration Data

Damping factor method	HTRI Method
Include inlet vibration support	No
Include outlet vibration support	No

For
education
use only

Výsledky varianty 2



Output Summary

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

XistS Ver. 5.00 20.5.2010 15:59 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny v tr_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

No Data Check Messages.**See Runtime Message Report for Warning Messages.**

Process Conditions		Cold Shellside		Hot Tubeside	
Fluid name	PVS			Spaliny	
Flow rate	(kg/s)		1,2910		1,2400
Inlet/Outlet Y	(Wt. frac vap.)	1,000	1,000	1,000	1,000
Inlet/Outlet T	(Deg C)	98,90	529,80	600,00	140,43
Inlet P/Avg	(kPa)	430,606		107,002	105,038
dP/Allow.	(kPa)	13,246	14,100	3,926	4,100
Fouling	(m2-K/W)		0,000000		0,000000

Exchanger Performance					
Shell h	(W/m2-K)	216,07	Actual U	(W/m2-K)	35,62
Tube h	(W/m2-K)	53,42	Required U	(W/m2-K)	33,81
Hot regime	(--)	Sens. Gas	Duty	(MegaWatts)	0,6566
Cold regime	(--)	Sens. Gas	Area	(m2)	358,717
EMTD	(Deg C)	52,1	Overdesign	(%)	5,34

Shell Geometry			Baffle Geometry		
TEMA type	(--)	AES	Baffle type	(--)	Single-Seg.
Shell ID	(mm)	700,000	Baffle cut	(Pct Dia.)	21,37
Series	(--)	1	Baffle orientation	(--)	Perpend.
Parallel	(--)	1	Central spacing	(mm)	343,110
Orientation	(deg)	0,00	Crosspasses	(--)	23

Tube Geometry			Nozzles		
Tube type	(--)	Plain	Shell inlet	(mm)	154,051
Tube OD	(mm)	15,000	Shell outlet	(mm)	205,004
Length	(m)	8,500	Inlet height	(mm)	24,302
Pitch ratio	(--)	1,2500	Outlet height	(mm)	24,302
Layout	(deg)	45	Tube inlet	(mm)	387,351
Tubecount	(--)	935	Tube outlet	(mm)	307,087
Tube Pass	(--)	1			

Thermal Resistance; %		Velocities; m/s		Flow Fractions	
Shell	13,63	Shellside	9,78	A	0.328
Tube	86,24	Tubeside	20,94	B	0.458
Fouling	0,00	Crossflow	7,38	C	0.081
Metal	0,138	Window	14,37	E	0.134
				F	0.000

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

XistS Ver. 5.00 20.5.2010 15:59 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny v tr_1x1_by M. Jonak

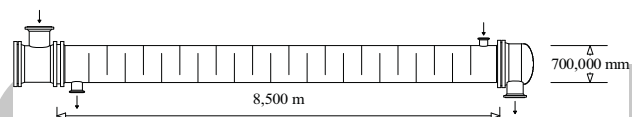
Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Process Data		Cold Shellside		Hot Tubeside	
Fluid name	PVS			Spaliny	
Fluid condition			Sens. Gas		Sens. Gas
Total flow rate	(kg/s)		1,2910		1,2400
Weight fraction vapor, In/Out	(--)	1,000	1,000	1,000	1,000
Temperature, In/Out	(Deg C)	98,90	529,80	600,00	140,43
Temperature, Average/Skin	(Deg C)	314,4	326,62	370,2	326,72
Wall temperature, Min/Max	(Deg C)				
Pressure, In/Average	(kPa)	430,606		107,002	105,038
Pressure drop, Total/Allowed	(kPa)	13,246	14,100	3,926	4,100
Velocity, Mid/Max allow	(m/s)	9,78		20,94	
Mole fraction inert	(--)				
Average film coef.	(W/m ² -K)		216,07		53,42
Heat transfer safety factor	(--)		1,000		1,000
Fouling resistance	(m ² -K/W)		0,000000		0,000000

Overall Performance Data

Overall coef., Reqd/Clean/Actual	(W/m ² -K)	33,81 /	35,62 /	35,62
Heat duty, Calculated/Specified	(MegaWatts)	0,6566 /		
Effective overall temperature difference	(Deg C)	52,1		
EMTD = (MTD) * (DELTA) * (F/G/H)	(Deg C)	54,11 *	0,9619 *	

See Runtime Messages Report for warnings.


Exchanger Fluid Volumes

 Approximate shellside (L)
 Approximate tubeside (L)

Shell Construction Information

TEMA shell type	AES	Shell ID	(mm)	700,000
Shells Series	1 Parallel 1	Total area	(m ²)	374,507
Passes Shell	1 Tube 1	Eff. area	(m ² /shell)	358,717
Shell orientation angle (deg)	0,00			
Impingement present	No			
Pairs seal strips	5	Passlane seal rods (mm)	No. 0	
Shell expansion joint	No	Rear head support plate	No	
Weight estimation Wet/Dry/Bundle		11348 /	8167,2 /	4699,2 (kg/shell)

Baffle Information

Type	Perpend. Single-Seg.	Baffle cut (% dia)	21,37
Crosspasses/shellpass	23	No. (Pct Area)	(mm) to C.L
Central spacing	(mm) 343,110	1	17,52 200,384
Inlet spacing	(mm) 487,031	2	0,00 0,000
Outlet spacing	(mm) 449,121		
Baffle thickness	(mm) 6,350		

Tube Information

Tube type	Plain	Tubecount per shell	935
Overall length	(m) 8,500	Pct tubes removed (both)	
Effective length	(m) 8,141	Outside diameter	(mm) 15,000
Total tubesheet	(mm) 358,358	Wall thickness	(mm) 1,500
Area ratio	(out/in) 1,2500	Pitch (mm)	18,7500 Ratio 1,2500
Tube metal	Carbon steel	Tube pattern (deg)	45

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

XistS Ver. 5.00 20.5.2010 15:59 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny v tr_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Shellside Performance

Nom vel, X-flow/window 7,38 / 14,37

Flow fractions for heat transfer 0,619

A=0,3280 B=0,4579 C=0,0805 E=0,1336 F=0,0000

Shellside Heat Transfer Corrections

Total	Beta	Gamma	End	Fin
0,973	0,907	1,072	0,983	1,000

Pressure Drops (Percent of Total)

Cross	Window	Ends	Nozzle	Shell	Tube
48.39	28.54	4.21	Inlet	10.03	3.66
MOMENTUM		0.00	Outlet	8.83	2.89

Two-Phase Parameters

Method	Inlet	Center	Outlet	Mix F
--------	-------	--------	--------	-------

H. T. Parameters
Shell Tube

Overall wall correction		0,992	0,000
Midpoint Prandtl no.		0,00	0,00
Midpoint Reynolds no.			
Bundle inlet Reynolds no.			
Bundle outlet Reynolds no.			
Fouling layer (mm)			

Thermal Resistance

Shell	Tube	Fouling	Metal	Over Des
13,63	86,24	0,00	0,138	5,34
Total fouling resistance				0,00000
Differential resistance				0,00150

Shell Nozzles

Inlet at channel end-No	Inlet	Outlet	Liquid Outlet
Number at each position	1	1	0
Diameter (mm)	154,051	205,004	
Velocity (m/s)	18,35	23,13	
Pressure drop (kPa)	1,329	1,170	
Height under nozzle (mm)	24,302	24,302	
Nozzle R-V-SQ (kg/m-s2)	1271,12	904,86	
Shell ent. (kg/m-s2)	1704,71	1728,65	

Tube Nozzle

	Inlet	Outlet	Liquid Outlet
	RADIAL		
Diameter (mm)	387,351	307,087	
Velocity (m/s)	24,79	19,37	
Pressure drop (kPa)	0,144	0,114	
Nozzle R-V-SQ (kg/m-s2)	260,90	324,36	

Annular Distributor

	Inlet	Outlet
Length (mm)		
Height (mm)		
Slot area (mm2)		

Diametral Clearances (mm)

Baffle-to-shell	Bundle-to-shell	Tube-to-baffle
4,7625	39,8242	0,7938

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny v tr_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Shell Data

Service type	Generic Shell and Tube
TEMA type	AES
Run mode	Design
Hot fluid location	Tubeside
Number of shells in series	1
Number of shells in parallel	1
Shell inside diameter	700,000 mm
Flow in 1st tubepass	Countercurrent
Train flow direction	Countercurrent

Reboiler Data

Reboiler type	No piping specified
Inlet pressure location	Inlet nozzle

Tube Data

Tube type	Plain
Tube outside diameter	15,000 mm
Tube wall thickness	1,500 mm
Tube pitch	18,750 mm
Tube pitch ratio	1,250
Tubepasses per shell	1
Tube pattern	45 degrees
Tube count method	Rigorous
Tube length	8,500 m
Tube material	Carbon steel

Tubepass Arrangement Data

Force symmetric layout	No
Force cleaning lanes	No
Tubes to remove for tie rods	Calculated

Baffle Data

Baffle type	Single segmental
Baffle orientation	Program sets
Variable baffle spacing	No
Window cut from baffles	No

Clearance Data

Number of seal strip pairs	Calculated
Baffle clearance type	TEMA
Block A stream	No
Block E stream	No
Block F stream	No
Number of passlane seal rods	Calculated

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny v tr_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Nozzle Data

Number of shellside inlet nozzles	1
Number of shellside outlet nozzles	1
Number of tubeside inlet nozzles	1
Number of tubeside outlet nozzles	1
Radial position on shell inlet nozzle	Program decides
Longitudinal position on shell of inlet nozzle	At rear head
Radial position on shell outlet nozzle	Program decides
Tubeside entry type	Radial
Tubeside inlet position	Front head
Tubeside exit type	Same as inlet
Front head location	Left

Impingement Data

Impingement device present	If required by TEMA
Impingement type	Circular plate

Optional Geometry Data

Small exchanger	No
Tubesheet type	Single
Shell expansion joint	No
Floating head support type	None
Insulated longitudinal baffle	No

Process Conditions Data

	Hot Fluid	Cold Fluid
Phase condition	Sensible gas	Sensible gas
Flow rate	1,2400	1,2910 kg/s
Inlet vapor fraction	1	1
Outlet vapor fraction	1	1
Inlet temperature	600,00	98,90 C
Outlet temperature		529,80 C
Inlet Pressure	107,000	430,600 kPa
Allowable pressure drop	4,100	14,100 kPa
Duty multiplier		1

Hot Fluid Property Data

Fluid name	Spaliny
Physical property method	Component by component properties
Heat release method	Program calculated
Flash type	Integral
Quantity units	Weight
Temperature interpolation option	Program
Number of components	6

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny v tr_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Hot Fluid Component Data

Component number	1	2	3
Component name	Carbon Dioxide	Nitrogen	Water (IAPWS 1997)
Comp. bank name	Carbon Dioxide	Nitrogen	Water (IAPWS 1997)
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	2	131	1
Component phase	Mixed	Mixed	Mixed
Component quantity	14,98	68,18	7,789
Component number	4	5	6
Component name	Sulfur Dioxide	Argon	Oxygen
Comp. bank name	Sulfur Dioxide	Argon	Oxygen
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	120	208	201
Component phase	Mixed	Mixed	Mixed
Component quantity	0,572	1,144	7,335

Cold Fluid Property Data

Fluid name	PVS
Physical property method	Component by component properties
Heat release method	Program calculated
Flash type	Integral
Quantity units	Weight
Temperature interpolation option	Program
Number of components	2

Cold Fluid Component Data

Component number	1	2
Component name	Water (IAPWS 1997)	Air
Comp. bank name	Water (IAPWS 1997)	Air
Component bank	HTRI/DIPPR	HTRI/DIPPR
Component code	1	3
Component phase	Mixed	Vapor
Component quantity	11,81	88,19

Design Geometry Data

	Minimum	Maximum	Step Size
Vary shell diameter	675,000	725,000	12,500 mm
Vary tube length	8,000	8,500	0,100 m

Design Options Data

End baffle spacing equal to central	Program decides
Minimize number of baffles	No
Crosspass design	Program control
Tube-pass design sequence	Even 2,4,6

Control Name Data

Case name	TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny v tr_1x1_by M. Jonak
-----------	---



Input Reprint

Page 9

Released to the following organization:

VUT Brno

VUT Brno

XistS Ver. 5.00 20.5.2010 15:59 SN: 1600211661

SI Units

TVT se segmentovými pøepážkami_spaliny v tr_1x1_by M. Jonak

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Control Methods Data

Shellside friction factor method	Commercial
Tubeside friction factor method	Commercial
Pure longitudinal flow	No
Pure component condensation	No
Condensing correlation	HTRI Proration
Mole fraction inerts	0
Momentum exclusion	0 %
Pure component boiling	No
Check film boiling	Yes
Nucleate boiling method	Physical property/theoretical boiling range
Component boiling method	Nucleate and convective

Control Safety Data

Cold fluid/shellside film coefficient multiplier	1
Cold fluid/shellside friction factor multiplier	1
Fraction of critical flux for film boiling	1
Hot fluid/tubeside film coefficient multiplier	1
Hot fluid/tubeside friction factor multiplier	1

Control User-Defined Methods Data

Add non-nucleate boiling	Yes
--------------------------	-----

Control Vibration Data

Damping factor method	HTRI Method
Include inlet vibration support	No
Include outlet vibration support	No

For
education
use only